



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN GAS PADA
PENGELASAN GTAW (*GAS TUNGSTEN ARC
WELDING*) PADA BAJA ST 42 TERHADAP
CACAT LAS, LEBAR HAZ DAN KEKERASAN**

**MUHAMMAD KHOIRUL ANWAR NAWAWI
NRP.10211500000054**

**Dosen Pembimbing
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN GAS PADA
PENGELASAN GTAW (*GAS TUNGSTEN ARC
WELDING*) PADA BAJA ST 42 TERHADAP
CACAT LAS, LEBAR HAZ DAN KEKERASAN**

**MUHAMMAD KHOIRUL ANWAR NAWAWI
NRP.10211500000054**

**Dosen Pembimbing
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - TM 145502

**EFFECT OF FLOWRATE GAS VARIETY IN
GTAW (*GAS TUNGSTEN ARC WELDING*)
WELDING PROPERTIES STEEL ST 42 FOR
WELD DEFECTS, WIDE HAZ AND HARDNESS**

**MUHAMMAD KHOIRUL ANWAR NAWAWI
NRP.10211500000054**

**Counsellor Lecturer
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**DIPLOME III MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING INDUSTRY
Faculty of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN GAS PADA PENGELASAN GTAW (*GAS TUNGSTEN ARC WELDING*) PADA BAJA ST 42 TERHADAP CACAT LAS, LEBAR HAZ DAN KEKERASAN

TUGAS AKHIR

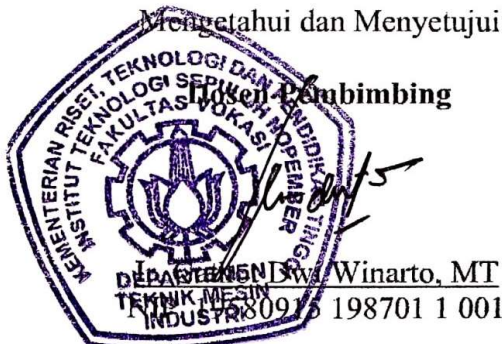
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya
pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III
Jurusan Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD KHOIRUL ANWAR NAWAWI
NRP. 102115 00000 054

Mengetahui dan Menyetujui

Hosen Pembimbing



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
0915 198701 1 001

SURABAYA, JULI 2018

**PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN GAS PADA
PENGELASAN GTAW (GAS TUNGSTEN ARC WELDING)
PADA BAJA ST 42 TERHADAP CACAT LAS, LEBAR
HAZ DAN KEKERASAN**

Nama Mahasiswa : Muhammad Khoirul Anwar Nawawi
NRP : 10211500000054
Jurusan : Departemen Teknik Mesin
Industri Fakultas Vokasi
Dosen Pembimbing : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

Abstrak

Masalah yang terjadi pada pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) adalah gas pelindung yang digunakan untuk melindungi busur dan logam cair dari kontaminasi oksigen dan nitrogen yang ada pada atmosfer. Jika laju aliran gas pelindung tidak tepat dalam las logam cair maka akan menghasilkan cacat las.

Pada penelitian ini, perlakuan yang diberikan oleh peneliti adalah pengelasan dengan variasi laju aliran gas. Pengelasan dilakukan dengan metode GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) pada bahan baja ST 42 dengan filler ER 70S-6 dengan kampuh V tunggal 60°. Variasi laju aliran gas yang digunakan dalam penelitian ini adalah laju aliran gas 10 liter/menit, 15 liter/menit dan 20 liter/menit, kemudian diuji dengan menggunakan uji radiografi, makro etsa dan kekerasan.

Pada hasil pengujian radiografi, jenis cacat yang paling sedikit terdapat pada material hasil lasan dengan laju aliran gas 15 liter/menit yaitu cacat tungsten inclusion dan porosity dibanding laju aliran gas 10 liter/menit yaitu cacat porosity, incomplete fusion, undercut dan laju aliran gas 20 liter/menit yaitu cacat porosity, incomplete fusion, tungsten inclusion, undercut. Untuk hasil pengujian makro etsa didapat lebar HAZ terbesar terdapat pada hasil lasan laju aliran gas 20 liter/menit. Pada laju aliran gas 15 liter/menit mengalami penurunan lebar

HAZ tetapi pada laju aliran 10 liter/menit mengalami kenaikan lebar HAZ. Pada hasil pengujian kekerasan pada laju aliran gas 10 liter/menit, 15 liter/menit dan 20 liter/menit cenderung mengalami kenaikan dari base metal sampai weld metal. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada laju aliran gas 20 liter/menit yaitu Base metal 76,479 HRB, HAZ 82,708 HRB, dan Weld metal 86,854 HRB.

Kata kunci :Pengelasan, GTAW, Variasi Laju aliran gas, baja ST 42

EFFECT OF FLOWRATE GAS VARIETY IN GTAW (GAS TUNGSTEN ARC WELDING) WELDING PROPERTIES STEEL ST 42 FOR WELD DEFECTS, WIDE HAZ AND HARDNESS

Name : Muhammad Khoirul Anwar Nawawi
NRP : 102115 00000 054
Major : Department of Mechanical Engineering Industry Faculty of Vocation
Counsellor Lecturer : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

Abstract

Problems that occur in GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) welding is a protective gas used to protect arc and liquid metal from the contamination of oxygen and nitrogen present in the atmosphere. If the flowrate of protective gas is not right in the welding of molten metal it will produce a weld defects.

In this research, the treatment given by the researcher is welding with variety of gas flowrate. Welding is done by GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) method on ST 42 steel material with ER 70S-6 filler with single V hem 60°. The variety of the gas flow rate used in this research is the gas flow rate of 10 liters / minute, 15 liters / minute and 20 liters / minute, then tested using radiographic tests, macro etching and hardness.

In the radiographic test results, the least defective type found in welded material with gas flow rate of 15 liters / minute is tungsten inclusion defect and porosity compared to 10 liters / minutes gas flow rate is porosity defect, incomplete fusion, undercut and gas flow rate 20 liter / min that is porosity defect, incomplete fusion, tungsten inclusion, undercut. For macro etch test result obtained the largest width of HAZ is in result of welding gas flow rate 20 liter / minute. At a gas flow rate of 15 liters / min decreases the width of HAZ but at a flow rate of 10 liters / min increases HAZ width. In the results of hardness

testing at gas flow rate 10 liters / minute, 15 liters / minute and 20 liters / min tends to increase from base metal to weld metal. The highest hardness value is at gas flow rate 20 liter / minute that is Base metal 76,479 HRB, HAZ 82,708 HRB, and Weld metal 86,854 HRB.

Keywords: Welding, GTAW, Gas flow rate variety, ST 42 steel

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Penelitian yang berjudul :

**“PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN GAS PADA
PENGELASAN GTAW (*GAS TUNGSTEN ARC
WELDING*) PADA BAJA ST 42 TERHADAP CACAT
LAS, LEBAR HAZ DAN KEKERASAN”**

dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Penelitian ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Bapak Ir. Gathot Dwi Winarto, MT.** selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Penelitian ini.
2. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.** selaku kepala Departemen Teknik Mesin Industri.
3. **Bapak Ir. Suhariyanto, MSc** selaku koordinator Penelitian Departemen Teknik Mesin Industri.
4. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Penelitian ini.
5. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu yang selalu memberikan semangat, doa ,serta dukungan dalam bentuk apapun.

6. Tim penguji Spetra Megah Semesta yang telah membantu pengujian dan memberi masukan untuk penelitian.
7. **Pak Rif'an** yang telah memberikan kesempatan penulis menggunakan tempat kerja untuk melakukan praktikum pengelasan.
8. Teman-teman **D3MITS 2015** yang telah membantu dan menyemangati, **Alwi** partner TA terbaik dan teman - teman satu dosen pembimbing yang selalu membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan Penelitian ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga Penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi Sarjana Teknik Mesin FTI-ITS dan Departemen Teknik Mesin Industri.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Baja Karbon.....	5
2.3 Pengelasan	7
2.3.1 Pengelasan GTAW	8
2.3.1.1 Prinsip Kerja Las GTAW	9
2.3.1.2 Variabel Proses Las GTAW	15
2.3.2 Siklus Termal	18
2.3.3 Heat Input.....	20
2.3.4 Kodefikasi Elektroda Terumpan	21
2.3.5 Sambungan Las	22
2.3.5.1 Sambungan Tumpul	23
2.4 Cacat Pengelasan.....	24
2.4.1 Porosity.....	24
2.4.2 Tungsten Inclusion	25

2.4.3 Incomplete Fusion	25
2.4.4 Undercut	26
2.4.5 Incomplete Penetration.....	26
2.5 Pengujian Hasil Pengelasan	27
2.5.1 Uji Kekerasan	27
2.5.1.1 Uji Kekerasan Brinel	28
2.5.1.2 Uji Kekerasan Rockwell.....	29
2.5.1.3 Uji Kekerasan Vickers	30
2.5.2 Uji Radiografi.....	32
2.5.2.1 Sinar-X	32
2.5.2.2 Sinar-Gamma	33
2.5.2.3 Pesawat Gamma Ray.....	33
2.5.2.4 Sumber Radioaktif Gamma Ray	33
2.5.2.5 Prinsip Kerja Radiografi.....	34
2.5.2.6 Metode Pengujian Radiografi.....	35
2.5.2.7 Pemilihan Image Quality Indicator (IQI)	39
2.5.2.8 Film Radiografi	41
2.5.2.9 Sensitivitas Film Radiografi.....	42
2.5.2.10 Densitas Film Radiografi	43
2.5.2.11 Interpretasi Hasil Film Radiografi	44
2.5.2.12 Klasifikasi Jenis Film Radiografi	44
2.5.2.13 Pemilihan Film Radiografi	45
2.5.2.14 Pemrosesan Film Radiografi	46
2.5.3 Uji Metalografi.....	48
2.5.3.1 Uji Makro	49
2.5.3.2 Uji Mikro.....	49

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Percobaan	51
3.2 Diagram Alir	51
3.3 Persiapan Bahan dan Peralatan	53
3.3.1 Persiapan Bahan.....	53

3.3.2 Persiapan Alat	54
3.3.3 Persiapan Spesimen	54
3.4 Pengelasan	55
3.5 Pengambilan Data.....	57
3.5.1 Pengujian Radiografi	57
3.5.2 Pengujian Metalografi (Macro Etsa)	62
3.5.3 Pengujian Kekerasan Rockwell	64

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Pengelasan.....	67
4.2 Hasil Pengujian Radiografi	68
4.3 Hasil Pengujian Makro Etsa	74
4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell	79

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	93
5.2 Saran.....	94

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi pengelasan.....	8
Gambar 2.2	Pengelasan GTAW.....	9
Gambar 2.3	Skema pengelasan GTAW.	10
Gambar 2.4	Stang las/obor (<i>torch welding</i>).	11
Gambar 2.5	Penggerindaan elektroda tungsten.....	14
Gambar 2.6	Pengaruh kecepatan pengelasan terhadap penetrasi dan lebar lajur las	17
Gambar 2.7	Daerah lasan	18
Gambar 2.8	Siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ.....	19
Gambar 2.9	Siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda	20
Gambar 2.10	Jenis-jenis sambungan dasar	22
Gambar 2.11	Alur sambungan las tumpul.....	23
Gambar 2.12	Cacat porosity.....	24
Gambar 2.13	Jenis-jenis cacat porosity.....	25
Gambar 2.14	Cacat tungsten inclusion.....	25
Gambar 2.15	Cacat incomplete fusion.....	26
Gambar 2.16	Cacat undercut.....	26
Gambar 2.17	Cacat incomplete penetration.	27
Gambar 2.18	Parameter dasar pada pengujian brinell	29
Gambar 2.19	Skema proses uji kekerasan vickers	31
Gambar 2.20	Tipe-tipe lekukan piramida intan	32
Gambar 2.21	Mesin gamma-ray.....	33
Gambar 2.22	Sumber radioaktif isotop material	34
Gambar 2.23	Skema pengujian radiografi	34
Gambar 2.24	<i>Internal source image internal film technique</i> .	35
Gambar 2.25	<i>Internal film technique</i>	36
Gambar 2.26	<i>Panaromic technique</i>	36
Gambar 2.27	<i>Contact tehinique</i>	37
Gambar 2.28	<i>Non contact technique</i>	37
Gambar 2.29	<i>Ellips technique</i>	38
Gambar 2.30	<i>Superimposed technique</i>	39
Gambar 2.31	Penyinaran menggunakan film radiografi	41

Gambar 2.32	Penampang film radiografi dan jenis bagiannya.....	41
Gambar 2.33	<i>Wire image quality incicator</i>	42
Gambar 2.34	Densitometer	43
Gambar 2.35	Viewer	44
Gambar 2.36	Struktur butir film lambat dan film cepat.....	46
Gambar 2.37	Skema diagram pemrosesan film radiografi.....	48
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	53
Gambar 3.2	Dimensi material	53
Gambar 3.3	Sudut <i>bevel</i> 30° dengan tebal plat 8 mm.....	54
Gambar 3.4	Material dengan sudut <i>bevel</i> 30°	54
Gambar 3.5	Proses pengelasan	55
Gambar 3.6	Mesin las TIG	56
Gambar 3.7	Tang ampere	56
Gambar 3.8	Alat uji radiografi Ir-192	58
Gambar 3.9	Pemberian identitas pada spesimen	60
Gambar 3.10	Spesimen uji radiografi.....	60
Gambar 3.11	Proses uji radiografi.....	61
Gambar 3.12	Proses pencucian film setelah proses radiografi	61
Gambar 3.13	Cairan <i>Developer, stop bath, Fixer</i>	61
Gambar 3.14	<i>Viewer</i>	62
Gambar 3.15	Spesimen sebelum di etsa	63
Gambar 3.16	Peralatan untuk proses etsa.....	63
Gambar 3.17	larutan etsa.....	63
Gambar 3.18	Kertas gosok	64
Gambar 3.19	Proses pengetsaan	64
Gambar 3.20	Titik identasi pengujian kekerasan rockwell ...	65
Gambar 4.1	Hasil lasan laju aliran gas 10 liter/menit.....	70
Gambar 4.2	Film hasil uji radiografi aliran gas 10 liter/menit	70
Gambar 4.3	Sketsa cacat las aliran gas 10 liter.menit	70
Gambar 4.4	Hasil lasan laju aliran gas 15 liter/menit.....	71
Gambar 4.5	Film hasil uji radiografi aliran gas 15 liter/menit	72
Gambar 4.6	Sketsa cacat las aliran gas 15 liter.menit	72
Gambar 4.7	Hasil lasan laju aliran gas 20 liter/menit.....	73

Gambar 4.8	Film hasil uji radiografi aliran gas 20 liter/menit	73
Gambar 4.9	Sketsa cacat las aliran gas 20 liter.menit	73
Gambar 4.10	Foto makro spesimen las 10 liter/menit.....	75
Gambar 4.11	Foto lebar HAZ lasan 10 liter/menit.....	75
Gambar 4.12	Foto makro spesimen las 15 liter/menit.....	76
Gambar 4.13	Foto lebar HAZ lasan 15 liter/menit.....	76
Gambar 4.14	Foto makro spesimen las 20 liter/menit.....	77
Gambar 4.15	Foto lebar HAZ lasan 20 liter/menit.....	77
Gambar 4.16	Grafik lebar HAZ bagian kiri	78
Gambar 4.17	Grafik lebar HAZ bagian kanan	78
Gambar 4.18	Titik identasi hasil pengujian kekerasan Rockwell	79
Gambar 4.19	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 1A laju aliran gas 10 liter/min kiri	81
Gambar 4.20	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 1A laju aliran gas 10 liter/min kanan	81
Gambar 4.21	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 1B laju aliran gas 10 liter/min kiri	82
Gambar 4.22	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 1B laju aliran gas 10 liter/min kanan	83
Gambar 4.23	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 2A laju aliran gas 15 liter/min kiri	84
Gambar 4.24	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 2A laju aliran gas 15 liter/min kanan	84
Gambar 4.25	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 2B laju aliran gas 15 liter/min kiri	85
Gambar 4.26	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 2B laju aliran gas 15 liter/min kanan	86
Gambar 4.27	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 3A laju aliran gas 20 liter/min kiri	87
Gambar 4.28	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 3A laju aliran gas 20 liter/min kanan	87
Gambar 4.29	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 3B laju aliran gas 20 liter/min kiri	88
Gambar 4.30	Grafik hasil uji kekerasan spesimen 3B laju aliran gas 20 liter/min kanan	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Baja Karbon.....	6
Tabel 2.2	Komposisi Kimia Baja ST 42.....	6
Tabel 2.3	Elektrode Tungsten	12
Tabel 2.4	Penggunaan Elektroda Tungsten untuk Mengelas Baja Karbon	13
Tabel 2.5	Efisiensi perpindahan panas	21
Tabel 2.6	Komposisi kimia ER 70S-6.....	22
Tabel 2.7	Skala kekerasan Rockwell.....	30
Tabel 2.8	Pemilihan Image Quality Indicator.....	40
Tabel 2.9	Wire IQI designation, wire diameter and wire identity.....	40
Tabel 2.10	Film AGFA GEVAERT.....	45
Tabel 3.1	Logam induk ST 42.....	56
Tabel 3.2	Logam Pengisi ER 70S-6.	57
Tabel 3.3	Parameter Pengelasan.....	57
Tabel 3.4	Pemilihan image quality indicator.....	59
Tabel 3.5	Wire IQI designation, wire diameter and wire identity.....	59
Tabel 3.6	Perencanaan hasil proses uji kekerasan.....	65
Tabel 4.1	Data primer pengelasan.....	67
Tabel 4.2	<i>Heat input</i>	68
Tabel 4.3	Sensivitas film.....	69
Tabel 4.4	Klasifikasi cacat pada laju aliran gas 10 liter/menit.	71
Tabel 4.5	Klasifikasi cacat pada laju aliran gas 15 liter/menit.	72
Tabel 4.6	Klasifikasi cacat pada laju aliran gas 20 liter/menit	74
Tabel 4.7	Lebar HAZ pada laju aliran gas 10 liter/menit	75
Tabel 4.8	Lebar HAZ pada laju aliran gas 15 liter/menit	76
Tabel 4.9	Lebar HAZ pada laju aliran gas 20 liter/menit	77

Tabel 4.10	Hasil pengujian kekerasan spesimen 1A laju aliran gas 10 liter/menit.	80
Tabel 4.11	Hasil pengujian kekerasan spesimen 1B laju aliran gas 10 liter/menit.	82
Tabel 4.12	Hasil pengujian kekerasan spesimen 2A laju aliran gas 15 liter/menit.	83
Tabel 4.13	Hasil pengujian kekerasan spesimen 2B laju aliran gas 15 liter/menit.	85
Tabel 4.14	Hasil pengujian kekerasan spesimen 3A laju aliran gas 20 liter/menit.	86
Tabel 4.15	Hasil pengujian kekerasan spesimen 3B laju aliran gas 20 liter/menit.	88
Tabel 4.16	Rangkuman hasil pengujian.....	86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini teknik pengelasan telah dipergunakan secara luas dalam penyambungan pada baja konstruksi. Dalam hal ini untuk menunjang hasil pengelasan yang baik, kualitas hasil pengelasan tidak hanya dilihat secara visual, namun harus diketahui secara struktur. Hasil pengelasan yang baik secara visual, belum tentu memiliki struktur yang baik. Oleh karena itu, untuk mengetahui apakah hasil pengelasan tersebut telah memenuhi kriteria harus ada pengukuran atau pengujian hasil las.

Gas pelindung yang biasanya digunakan pada pengelasan GTAW atau TIG adalah gas argon, helium atau campuran keduanya. Fungsi dasar dari gas pelindung adalah melindungi busur dan logam las cair dari kontaminasi oksigen dan nitrogen yang ada pada atmosfer. Jika gas pelindung tidak tepat melindungi las logam cair maka akan dihasilkan cacat las. Juga akan menyebabkan perubahan nilai kekerasan pada logam hasil las.

Baja karbon rendah (baja karbon yang memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%) merupakan baja yang banyak digunakan dan memiliki aplikasi yang luas seperti pada konstruksi bangunan dan rangka baja, konstruksi jembatan, untuk pipa, dan banyak juga digunakan dalam bidang otomotif sebagai *body* dari kendaraan terutama banyak digunakan di kendaraan mobil. Hal ini disebabkan selain mudah dikerjakan dengan proses pemesian dan mudah dibentuk, baja karbon rendah ini juga memiliki sifat mampu las yang cukup baik.

Berdasarkan uraian di atas, salah satu yang perlu diperhatikan dalam melakukan pengelasan (khususnya pada pengelasan GTAW) adalah pengaruh laju aliran gas argon pada hasil sambungan las. Untuk mengetahui pengaruh laju aliran gas terhadap cacat las, lebar HAZ dan kekerasan pada sambungan las maka perlu dilakukan pengujian yang dalam hal ini dilakukan pada logam baja karbon rendah (khususnya baja ST 42) dengan proses pengelasan *gas tungsten arc welding* (GTAW).

Oleh karena itu, dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis mengambil judul **“Pengaruh Variasi Laju Aliran Gas pada Pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) pada Baja ST 42 terhadap Cacat las, Lebar HAZ dan Kekerasan”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, pokok permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi laju aliran gas terhadap cacat las pada bahan ST 42 dengan pengelasan GTAW?
2. Bagaimana pengaruh variasi laju aliran gas terhadap lebar HAZ pada bahan ST 42 dengan pengelasan GTAW?
3. Bagaimana pengaruh variasi laju aliran gas terhadap nilai kekerasan pada bahan ST 42 dengan pengelasan GTAW?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji dalam penulisan tugas akhir ini, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Spesifikasi material yang digunakan adalah baja ST 42 dengan tebal 8 mm (bahan dianggap homogen).
2. Filler ER70S dengan diameter 1.6 mm.
3. Pengelasan GTAW.
4. Posisi pengelasan 1 G.
5. Jenis sambungan las yang digunakan butt weld joint dengan alur berbentuk V tunggal dengan sudut 60°.
6. Aliran gas yang digunakan dalam penelitian ini adalah (10 , 15 , 20) Liter / menit dan jenis arus yang digunakan adalah DCEN sebesar 120 A.
7. Menggunakan *gamma-ray* Ir-192.
8. Menggunakan metode *source side*.
9. Menggunakan *wire* IQI ASTM SET 1B.
10. Menggunakan teknik SWSV.
11. *Film* panjang tipe sedang AGFA *structurix* D7.
12. Pengujian dilakukan dengan uji radiografi , uji makro etsa dan uji kekerasan jenis Rockwell.

1.4 Tujuan

1. Mengetahui cacat las yang terjadi pada sambungan las dengan parameter variasi aliran gas sambungan butt joint pengelasan GTAW pada baja ST 42.
2. Mengetahui lebar HAZ pada hasil pengelasan dengan parameter variasi aliran gas sambungan butt joint pengelasan GTAW pada baja ST 42.
3. Mengetahui nilai kekerasan pada hasil pengelasan dengan parameter variasi aliran gas sambungan butt joint pengelasan GTAW pada baja ST 42.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan disusun dalam lima bab yaitu pendahuluan , dasar teori, metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan. Adapun perinciannya untuk memberikan gambaran penjas mengenai bagian – bagian tugas akhir, diantaranya:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk mencapai tujuan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi alat dan bahan, serta langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian radiografi, pengujian makro etsa dan pengujian kekerasan.

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Untuk mendukung penelitian dalam tugas akhir ini penulis mengambil contoh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu :

1. Pengaruh laju aliran gas dalam penelitiannya (Bintang, 2010) yaitu Analisa cacat porositas dan struktur mikro akibat pengaruh besar aliran gas hasil pengelasan MIG (Metal Inert Gas) pada paduan Aluminium 5083 dimana dalam penelitian ini perbedaan laju aliran gas 12 liter/menit, 19 liter/menit dan 38 liter/menit mempengaruhi terjadinya cacat porositas. Hasil penelitian ini dengan pengujian radiografi sinar-X didapat bahwa pada laju aliran gas 12 liter/menit, dan 19 liter/menit terindikasi cacat porositas. Sedangkan pada laju aliran gas 38 liter/menit tidak tampak terindikasi cacat porositas.
2. Pengaruh kandungan air di electrode E7018 terhadap lebar HAZ dalam penelitiannya (Bintang, 2017) yaitu Analisa variasi kandungan air di electrode E7018 pada hasil pengelasan SMAW dengan arus 220A terhadap material ST 37 menggunakan metode radiografi dan makro etsa. Hasil penelitian ini dengan pengujian marko etsa didapat bahwa semakin lama waktu perendaman electrode lebar HAZ semakin menyempit.

2.2 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, jika kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Karena itu, baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Wirjosumarto, 2000).

Baja ST 42 adalah baja struktur standardisasi Jerman (DIN=*Deutch Industrie Normen*). Baja ST 42 ini adalah termasuk dalam kategori baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,08-0,20 %, dan mampu menahan tegangan atau kekuatan tarik sebesar 42 kgf/mm² (411,87 MPa). Sifat yang dimiliki oleh baja ST 42 adalah mempunyai kekuatan dan keuletan yang cukup tinggi.

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kek. Luluh (kg/mm ²)	Kek. Tarik (kg/mm ²)	Kek. Brinel	Penggunaan
Baja Karbon rendah:					
Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat Tipis
Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	Batang, Kawat
Baja Lunak	0,12-0,2	22-30	38-48	100-130	Konstruksi
Baja Setengah Lunak	0,2-0,3	24-36	44-45	112-145	Umum
Baja Karbon Sedang	0,3-0,5	30-40	50-60	140-170	Alat-Alat Mesin
Baja Karbon Tinggi:					
Baja Keras	0,5-0,6	34-46	58-70	160-200	Perkakas
Baja Sangat Keras	0,6-0,8	36-47	36-47	180-235	Rel, Pegas, Kawat Piano

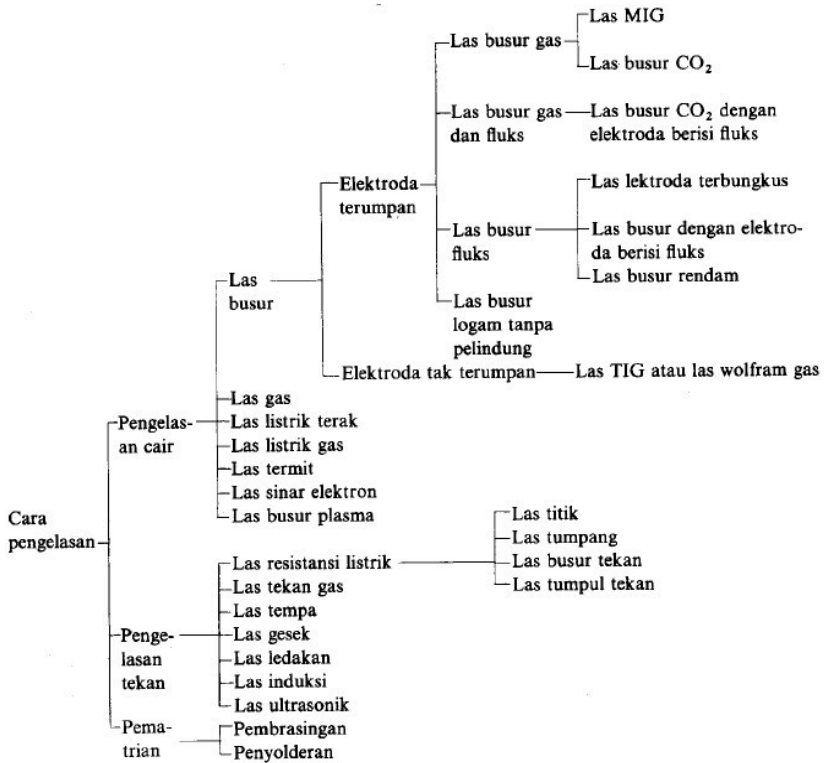
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Baja ST 42

Komposisi	Kandungan (%)
C	0,20 max
N	0,009
Mn	1,6
P	0,045
S	0,045

2.3 Pengelasan

Pengelasan (Welding) adalah proses penyambungan dua logam atau lebih dengan menggunakan proses pemanasan setempat, sehingga terjadi ikatan metaurgi antara logam - logam yang disambung. Proses penyambungan logam ini banyak dipakai di industri untuk pekerjaan konstruksi, pembuatan mesin, peralatan pabrik, konstruksi perpipaan serta pekerjaan lain yang memerlukan sambungan. Dalam setiap proses pengerjaan pengelasan harus memenuhi standar tertentu yaitu: ASME (American Society of Mechanical Engineers), API (American Petroleum Institute) dan lain sebagainya. Dalam hal ini proses las, pemilihan logam pengisi (filler metal), perencanaan prosedur las, kualifikasi prosedur pengelasan, perencanaan dan prosedur fabrikasi, serta sistem pengendalian mutu harus dilakukan mengikuti peraturan yang berlaku dalam standar.

Sampai saat ini cara pengklasifikasian yang digunakan dalam bidang las, ini disebabkan karena belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasian tersebut dapat dibagi dalam dua golongan yaitu: klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan.

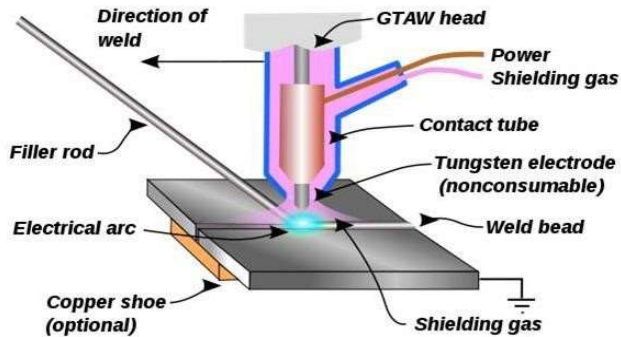


Gambar 2.1 Klasifikasi pengelasan

2.3.1 Pengelasan GTAW

Pengelasan *gas tungsten arc welding* (GTAW) adalah jenis pengelasan dengan memakai busur nyala api yang menghasilkan elektroda tetap yang terbuat dari tungsten (*wolfram*), sedangkan bahan penambah terbuat dari bahan yang sama atau sejenis dengan bahan yang dilas dan terpisah dari *torch*. Untuk mencegah oksidasi, maka dipakai gas pelindung yang keluar dari *torch* biasanya berupa gas argon dengan kemurnian mencapai 99,99%. Pada proses pengelasan ini peleburan logam terjadi karena panas yang dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dan logam

induk. Proses pengelasan *gas tungsten arc welding* (GTAW) dapat dilihat seperti pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Pengelasan GTAW

Tungsten Inert Gas (TIG) adalah suatu proses pengelasan busur listrik elektroda tidak terumpan, dengan menggunakan gas mulia sebagai pelindung terhadap pengaruh udara luar. Pada proses pengelasan TIG peleburan logam terjadi karena panas yang dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan logam induk. Pada jenis pengelasan ini logam pengisi dimasukkan ke dalam daerah arus busur sehingga mencair dan terbawa ke logam induk. Las TIG dapat dilaksanakan secara manual atau secara otomatis dengan mengotomatisasikan cara pengumpanan logam pengisi .

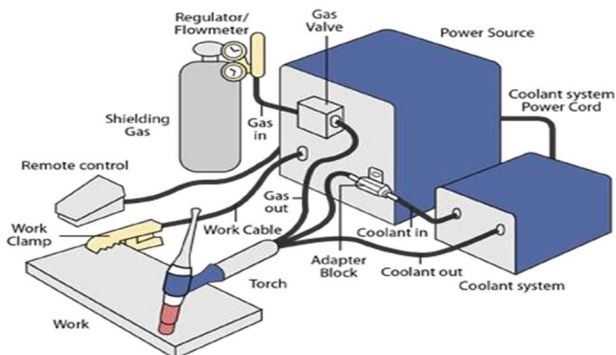
2.3.1.1 Prinsip Kerja Las GTAW

Pada gambar 2.3 menunjukkan skema atau cara pelaksanaan pengelasan GTAW. Prosesnya menggunakan gas pelindung untuk mencegah terjadinya oksidasi pada bahan las yang panas. Untuk menghasilkan busur nyala, digunakan elektroda yang tidak terkonsumsi terbuat dari logam tungsten atau paduannya yang mempunyai titik lebur sangat tinggi.

Busur nyala dihasilkan dari arus listrik melalui konduktor dan mengionisasi gas pelindung. Busur terjadi antara ujung

elektroda tungsten dengan logam induk. Panas yang dihasilkan busur langsung mencairkan logam induk dan juga logam las berupa kawat las (*rod*). Penggunaan kawat las tidak selalu dilaksanakan (hanya jika dirasa perlu sebagai logam penambah). Pencairan kawat las dilaksanakan di ujung kolom las yang sambil proses pengelasan berjalan. Terdapat 4 (empat) komponen dasar atau komponen utama dari las GTAW, yaitu (Sriwidharto, 2006):

1. Obor (*torch*)
2. Elektroda tidak terkonsumsi (*tungsten*)
3. Sumber arus las
4. Gas pelindung



Gambar 2.3 Skema pengelasan GTAW

1. Stang Las/Obor (*torch welding*)

Stang las atau obor GTAW berfungsi sebagai pemegang elektroda tidak terkonsumsi (*tungsten*) yang menyalakan arus pengelasan ke busur listrik, serta menjadi sarana penyalur gas pelindung ke zona busur (*arc zone*). Obor dipilih sesuai dengan kemampuan menampung arus las maksimum ke busur nyala tanpa mengalami *over heating*. Sebagian besar obor didesain untuk mengakomodasi segala

ukuran elektoda serta berbagai tipe ukuran *nozzle* (Sriwidharto, 2006).

Pada umumnya obor untuk pengelasan manual memiliki sudut kepala (*heat angle*), yakni antara sudut elektroda dan pegangan (*handle*) 120° dan jenis-jenis obor lainnya seperti obor dengan sudut kepala yang dapat diatur, sudut kepala siku (90°), dan kepala bentuk pensil. Obor GTAW manual memiliki *switch* dan katub tambahan yang dipasang pada pegangannya yang digunakan untuk mengendalikan arus dan aliran gas pelindung, sedangkan obor untuk mesin GTAW otomatis hanya dapat diatur pada permukaan sambungan, sepanjang sambungan, dan jarak antara obor dan bahan yang akan dilas (Sriwidharto, 2006).



Gambar 2.4 Stang las/obor (*torch welding*)

2. Elektroda Tidak Terumpan (Tungsten)

Elektroda tungsten adalah elektroda tidak terumpan (*non-consumable electrode*) yang berfungsi sebagai pencipta busur nyala saja yang digunakan untuk mencairkan kawat las yang ditambahkan dari luar dan benda yang akan disambung menjadi satu kesatuan sambungan. Elektroda ini tidak berfungsi sebagai logam pengisi sambungan sebagaimana yang biasa dipakai pada elektroda batang las busur metal maupun elektroda gulungan pada las MIG. Titik lebur metal tungsten adalah 6.170°F (3.410° C). Pada saat tungsten mendekati suhu tersebut, sifatnya menjadi *thermonic* (sumber

pemasok elektron). Suhu tersebut dihasilkan melalui tahanan listrik, jika saja bukan karena pengaruh pendinginan dari penguapan elektron yang keluar dari ujung elektroda, elektroda tersebut akan mencair oleh panas yang dihasilkan dari tahanan listrik tersebut. Pada kenyataannya suhu pada ujung elektroda jauh lebih dingin daripada bagian dari elektroda diantara ujungnya dan bagian *collet* yang paling dingin. Ada beberapa tipe elektroda tungsten yang biasa dipakai di dalam pengelasan sebagaimana dijelaskan pada tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Elektroda Tungsten

Klasifikasi AWS	Perkiraan Komposisi	Kode warna
EWP	Tungsten murni	Hijau
EWCe-2	97,3% tungsten, 2% cerium oksida	Oranye
EWL-1	98,3% tungsten, 1% lanthanum oksida	Hitam
EWTh-1	98,3% tungsten, 1% thorium oksida	Kuning
EWTh-2	97,3% tungsten, 2% thorium oksida	Merah
EWZr-1	99,1% tungsten, 0,25% zirkonium oksida	Coklat
EWG	94,5% tungsten, sisa tidak disebut	Abu-abu

Tabel di atas disusun berdasarkan klasifikasi AWS dimana kodekodenya dapat dijelaskan sebagai berikut:

E : elektroda

W: wolfram atau tungsten

P : tungsten murni (pure tungsten)

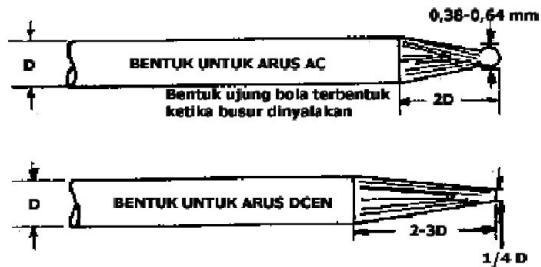
G : umum (general) dimana komposisi tambahan biasa tidak disebut.

Sedangkan untuk kode Ce-2, La-1, Th-1, Th-2, dan Zr-1 masing-masing adalah komposisi tambahan sebagaimana yang dapat dilihat pada tabel 2.3 diatas.

Tabel 2.4 Penggunaan Elektroda Tungsten Untuk Mengelas Baja Karbon

Diameter elektrode mm	Arus las			
	AC		Elektrode negatif	Elektrode positif
	YWP	YWth	Ywp, YWth	Ywp, YWth
0.5	5 ~ 15	5 ~ 20	5 ~ 20	--
1.0	10 ~ 60	15 ~ 80	15 ~ 80	--
1.6	50 ~ 100	70 ~ 150	70 ~ 150	10 ~ 20
2.4	100 ~ 160	140 ~ 235	150 ~ 250	15 ~ 30
3.2	150 ~ 210	225 ~ 325	250 ~ 400	25 ~ 40
4.0	200 ~ 275	300 ~ 425	400 ~ 500	40 ~ 55
4.8	250 ~ 350	400 ~ 525	500 ~ 800	55 ~ 80
6.4	325 ~ 475	500 ~ 700	800 ~ 1100	80 ~ 125

Elektroda tungsten murni biasa digunakan untuk pengelasan AC pada pengelasan aluminium maupun magnesium. Elektroda *tungsten thorium* digunakan untuk pengelasan DC. Elektroda *tungsten Zirconium* digunakan untuk AC- HF Argon dan AC *Balanced Wave* Argon. Elektroda tungsten disediakan dalam berbagai ukuran diameter dan panjang. Untuk diameter dari mulai ukuran 0,254 mm sampai dengan 6,35 mm. Untuk panjang disediakan mulai dari 76,2 mm sampai dengan 609,6 mm. Pengasahan elektroda tungsten dilakukan membujur dengan arah putaran gerinda. Pengasahan dengan arah ini akan mempermudah aliran arus yang akan digunakan di dalam pengelasan, sebaliknya jika penggerindaan dilakukan melintang dengan arah putaran batu gerinda akan mengakibatkan terhambatnya jalannya arus yang digunakan untuk mengelas. Adapun ukuran penggerindaan elektroda tungsten dapat dilihat pada Gambar 2.5 (Tim Fakultas Teknik UNY, 2004).



Gambar 2.5 Penggerindaan Elektroda Tungsten

3. Pemilihan Polaritas Listrik (AC/DC)

Dalam penggunaannya, jenis polaritas yang digunakan akan mempengaruhi kedalaman penetrasi yang akan dibentuk. Pada arus AC distribusi panasnya terjadi 1/2 untuk benda kerja dan 1/2 untuk elektroda. Pada arus DCEP 2/3 panas terjadi pada elektroda dan 1/3 sisanya terjadi pada benda kerja, sedangkan pada arus DCEN terjadi sebaliknya yaitu 1/3 panas untuk elektroda dan 2/3 panas sisanya terjadi pada benda kerja. Konsekuensi distribusi panas yang berbeda ini akan berpengaruh pada kedalaman penetrasi yang berbeda. Pada AC kedalaman penetrasi sedang dengan lebar kawah sedang. Pada DCEP, lebar kawah lebih besar dengan kedalaman penetrasi lebih dangkal bila dibanding AC. Pada DCEN, Lebar kawah lebih sempit dan kedalaman penetrasi lebih dalam bila dibandingkan AC.

4. Gas Pelindung (Argon)

Gas lindung (inert gas) adalah gas yang tidak bereaksi dengan logam maupun gas yang lain. Gas ini dipakai sebagai pelindung busur dan logam panas ketika proses pengelasan karena diudara bebas terdapat gas Nitrogen dan Oksigen yang pada temperatur tinggi gas-gas tersebut akan bereaksi dengan kebanyakan logam dan menimbulkan logam oksida dan gas-gas oksida yang membahayakan kesehatan. Disamping itu pengaruh sangat negatif terhadap hasil lasan. Gas lindung yang biasa dipakai di dalam las gas tungsten dapat berupa gas argon,

helium, dan campuran argon-hidrogen. Argon lebih sering dipakai di dalam las gas tungsten berdasar atas beberapa pertimbangan yang antara lain:

- a. Busur lebih tenang dan halus.
- b. Membutuhkan tegangan busur yang lebih rendah bila dibandingkan dengan gas lindung yang lain untuk panjang busur dan arus yang digunakan.
- c. Busur mudah sekali dinyalakan.
- d. Dengan arus AC, pengelasan aluminium dan magnesium mudah sekali dilakukan karena aksi pembersihan permukaan logam yang lebih besar
- e. Karena berat atom yang besar, konsumsi gas lindung dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan dengan gas lindung yang lain.

Argon yang dipakai sebagai gas lindung di dalam pengelasan gas tungsten harus mempunyai kemurnian 99,99%. Gas ini biasa disimpan di dalam silinder baja berukuran 330 cu.ft. (9,34 m³) yang biasanya mirip dengan silinder baja untuk gas oksigen.

2.3.1.2 Variabel Proses Las GTAW

Variabel utama pada pengelasan TIG adalah tegangan busur, tegangan busur (*arc length*), arus pengelasan, kecepatan gerak pengelasan (*travel speed*), dan gas lindung. Jumlah energi yang dihasilkan oleh busur sebanding dengan arus dan tegangan, sedangkan jumlah bahan las yang dideposisikan per satuan panjang berbanding terbalik dengan kecepatan gerak pengelasan. Busur yang dihasilkan dengan gas pelindung helium lebih dalam dari pada dengan gas argon .

a) Arus Busur

Secara umum dapat dikatakan bahwa arus pengelasan menentukan penetrasi las karena berbanding langsung, atau paling tidak secara eksponensial. Arus busur juga

mempengaruhi tegangan. Jika voltasenya tetap maka arus bertambah. Karenanya untuk mempertahankan panjang busur pada kepanjangan tertentu, perlu untuk mengubah penyetelan tegangan manakala arus disetel.

GTAW/TIG dapat menggunakan arus searah maupun arus bolak balik. Pemilihan arus tergantung pada jenis bahan yang akan dilas. Arus searah dengan elektroda pada bagian negatif dapat menghasilkan penetrasi yang cukup dalam dan kecepatan las yang lebih tinggi, terutama apabila gas lindungnya adalah helium. Namun dalam aplikasinya, pada pengelasan TIG gas pelindung yang banyak digunakan adalah gas argon. Gas argon merupakan pilihan yang terbaik untuk pengelasan TIG secara manual baik dengan menggunakan arus searah maupun arus bolak-balik. Ada kemungkinan pemilihan arus yang lain, yakni arus searah dengan elektroda pada bagian positifnya. Proses ini hanya digunakan dalam kondisi khusus saja, karena polaritas seperti ini akan menyebabkan *over heating* pada elektroda.

b) Tegangan Busur

Tegangan yang diukur antara elektroda tungsten dengan bahan induk biasanya disebut tegangan busur. Tegangan busur ini sangat tergantung pada hal-hal sebagai berikut (Sriwidharto, 2006):

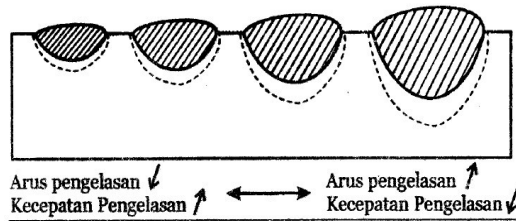
1. Arus busur
2. Bentuk ujung elektroda tungsten
3. Jarak antara elektroda tungsten dengan bahan induk
4. Jenis gas lindung

Tegangan arus dipengaruhi oleh variabel lainnya, dan digunakan untuk menjelaskan prosedur las karena mudah diukur. Karena variabel lainnya seperti gas lindung, elektroda dan jenis arus telah ditentukan sebelumnya,

maka tinggal tegangan busur saja yang digunakan untuk mengendalikan panjang busur meskipun tegangan busur merupakan variabel yang sulit dipantau.

c) Kecepatan pengelasan (*Travel speed*)

Kecepatan pengelasan mempengaruhi lebar lajur las dan kedalaman penetrasi TIG dan juga berpengaruh terhadap biaya. Pada beberapa aplikasi, kecepatan pengelasan dipandang sebagai obyektif bersama dengan variabel lainnya dipilih untuk mendapatkan konfigurasi las yang dikehendaki pada kecepatan tertentu.



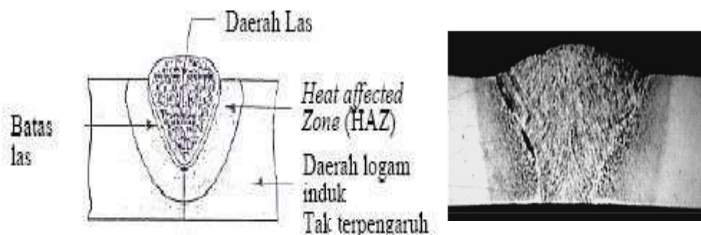
Gambar 2.6 Pengaruh Kecepatan Pengelasan Terhadap Penetrasi dan Lebar Lajur Las

d) Pengumpanan kawat las (*wire feed*)

Cara pengumpanan kawat las ke dalam kolam las menentukan jumlah lajur yang terproduksi dan tampak luarnya. Pada mesin las GTAW/TIG yang otomatis, kecepatan pengumpanan kawat las menentukan bahan tambahan las yang terdeposisi persatuan panjang sambungan las. Mengurangi kecepatan pengumpanan akan memperdalam penetrasi dan meratakan bentuk permukaan (*contour*) lajur las. Pengumpanan kawat las yang terlalu lambat cenderung akan menghasilkan *undercut* (luruhnya sisi kampuh), retak sumbu lajur dan kekurangan pengisian (*lack of joint fill*). Pengumpanan yang cepat akan mendangkalkan penetrasi dan menyebabkan bentuk lajur cembung (*convex*).

2.3.2 Siklus Termal

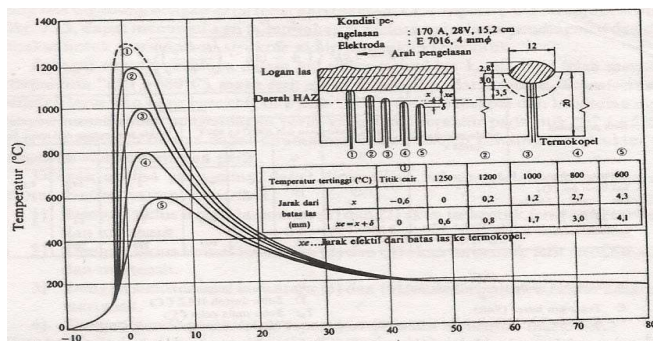
Siklus termal dalam pengelasan adalah proses pemanasan dan pendinginan pada daerah logam las dan daerah yang dipengaruhi panas atau HAZ (*Heat Affected Zone*). Karena dengan mengetahui, memungkinkan meramalkan sifat-sifat dari logam las. Aspek-aspek yang timbul selama dan sesudah pengelasan harus benar-benar diperhitungkan sebelumnya, karena perencanaan yang kurang tepat dapat mengakibatkan kualitas hasil las yang kurang baik. Pada proses pengelasan terdapat tiga daerah seperti ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Daerah lasan

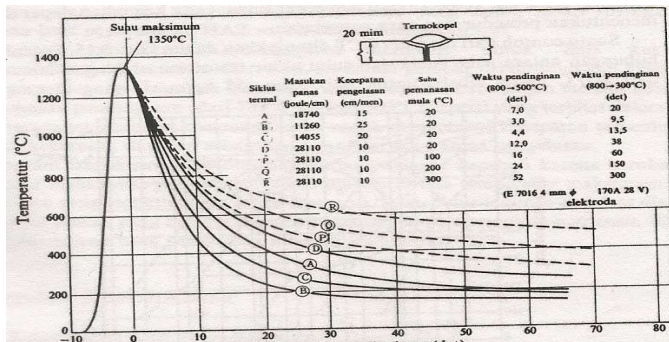
- (a) Logam induk (*base metal*), merupakan bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.
- (b) Daerah las / logam las, merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan membeku.
- (c) Daerah pengaruh panas atau *heat effected zone* (HAZ), merupakan logam dasar yang bersebelahan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat .
- (d) Selain ketiga daerah tersebut, masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dengan daerah pengaruh panas yang disebut batas las atau daerah fusi (*fusion line*).

Siklus termal las sebagai contoh dapat dilihat pada gambar 2.8 dan gambar 2.9, menunjukkan siklus termal daerah lasan pada gambar 2.8 dapat dilihat siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ (Heat Affected Zone) dengan kondisi pengelasan tetap, sedangkan pada gambar 2.9 menunjukkan siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan, karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan. Siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ (Heat Affected Zone)

Sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C, sedangkan retak dingin dimana hidrogen memegang peranan penting terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C. Sedangkan untuk Siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Silkus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda

2.3.3 Heat Input

Heat Input adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil perpaduan dari arus listrik pengelasan, tegangan (voltage) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (*heat input*). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

$$\text{Masukan panas : } HI = \frac{V \times I \times \eta}{s} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: HI = Masukan panas atau energi (J/mm)

I = Arus (Ampere)

V = Voltase (Volt)

η = Efisiensi perpindahan panas

s = Kecepatan pengelasan (mm/s)

Nilai η besarnya antara $0 \div 1$ yang tergantung proses pengelasannya.

Tabel 2.5 Efisiensi perpindahan panas

Welding process	Arc efficiency factor η
SA welding (steel)	$0.90 \div 0.99$
SMA welding (steel)	$0.66 \div 0.85$
GMA welding (steel)	$0.75 \div 0.93$
GMA welding (Co ₂ -steel)	$0.66 \div 0.70$
GTA weldng (Ar-steel)	$0.25 \div 0.75$
GTA welding (He-Al)	$0.55 \div 0.80$
GTA welding (Ar-Al)	$0.22 \div 0.46$

2.3.4 Kodefikasi Elektroda Terumpun

Elektroda terumpun merupakan logam pengisi kampuh las pada proses las GTAW. Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan mengingat filler rod harus memiliki komposisi lebih unggul dibanding logam dasar atau diharuskan sama dengan kekuatan material logam dasar. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem *AWS (American Welding Society)* dan *ASTM (American Society Testing Material)*.

Adapun kodefikasi dari elektroda sebagai berikut:

Contoh: ER XX S- A

ER : Elektroda Rod.

XX : (dua angka) menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ksi.

S : (angka ketiga) menyatakan kontruksi elektroda Solid.

A : (angka keempat) menyatakan komposisi kimia elektroda.

Adapun elektroda yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

ER 70S-6

ER : Elektroda Rod.

70 : Kekuatan Tarik 70.000 psi.

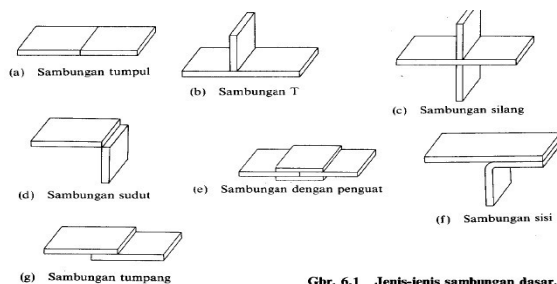
- S : Solid (tanpa flux).
 6 : Komposisi kimia elektroda sebagai berikut.

Tabel 2.6 Komposisi kimia ER 70S-6

Komposisi	Kandungan (%)
Carbon	0,06-1,5%
Silikon	0,08-1,15%
Nickel	0,15% max
Molybdenum	0,15% max
Copper	0,50%
Sulfur	0,035%
Chromium	0,15%
Iron	Balance
Manganese	1,40-1,85 %
Phosphorus	0,025 % max
Vanadium	0,03 % max
Other Total	0,50 % max

2.3.5 Sambungan Las

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi.



Gbr. 6.1 Jenis-jenis sambungan dasar.

Gambar 2.10 Jenis-jenis sambungan dasar

2.3.5.1 Sambungan Tumpul (Butt joint)

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Sambungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi sebagian seperti pada gambar 2.11. Sambungan penetrasi penuh dibagi lebih lanjut menjadi sambungan tanpa pelat pembantu dan sambungan dengan pelat pembantu. Bentuk alur pada sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk alur sangat penting. Bentuk dan ukuran alur sambungan datar ini sudah banyak distandarkan dalam standar AWS, DIN, dan lain-lain.

Jenis alur	Jenis lasan	Lasan dengan alur		
		Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)				
V tunggal (V)				
Tirus tunggal (V)				
U tunggal (U)			—	
V ganda (X)			—	
Tirus ganda (K)			—	
U ganda (H) (DU)			—	
J tunggal (J)			—	
J ganda (DJ)			—	

Gambar 2.11 Alur sambungan las tumpul (Butt joint)

2.4 Cacat Pengelasan

Cacat las dapat diartikan sebagai suatu cacat pada pengelasan akibat tidak adanya kesinambungan (*discontinuitas*) pada sambungan las tersebut. Ketidaksinambungan (*discontinuitas*) las pada sambungan las tersebut dapat disebabkan karena adanya suatu sebab dari proses pengelasan, seperti kurang homogennya sifat – sifat mekanis, metalurgi dan fisik dari material.

2.4.1 Porosity

Porosity merupakan cacat pengelasan yang disebabkan adanya gelembung gas yang terperangkap didalam logam. Cacat ini didefinisikan sebagai yang diakibatkan adanya gas terperangkap saat proses pendinginan logam lasan.

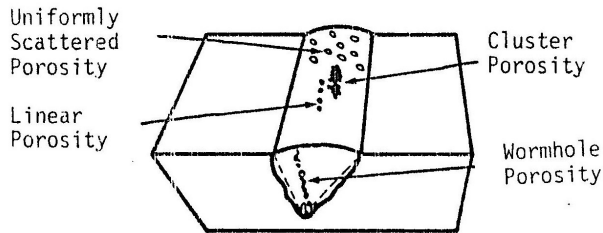


Gambar 2.12 Cacat porosity

Porosity dapat dibagi menjadi 2 jenis antara lain yaitu surface porosity / visual inspection dan internal porosity. Untuk karakteristik porosity terbagi sebagai berikut :

- a. Uniformly Scattered: pori-pori tersebar secara merata diseluruh logam lasan.
- b. Cluster Porosity: porositas dengan pori-pori terkumpul berkelompok-kelompok dan tiap kelompok terdiri dari pori-pori (lubang kecil yang keropos) terpisah terhadap kelompok lain.
- c. Linear Porosity: porosity dimana pori-pori tersebar menurut garis lurus dan umumnya terdapat pada root pass dan ada hubungannya dengan incomplete penetration.
- d. Elongated atau Wormhole: Bila lubang menerus panjang seperti pipa (Worm Hole). Yang membedakan antara Elongated porosity adalah lubang yang terjadi yaitu jika

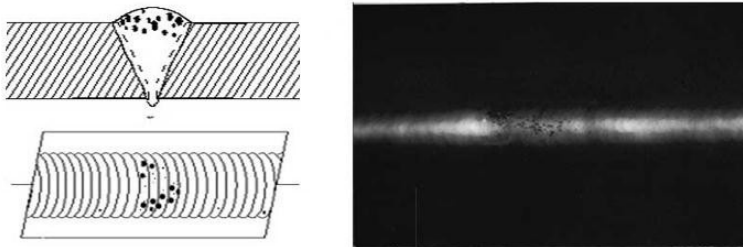
sejajar dengan akar las, namun jika tidak sejajar maka akan disebut worm hole.



Gambar 2.13 Jenis-jenis Cacat Porosity

2.4.2 Tungsten Inclusion

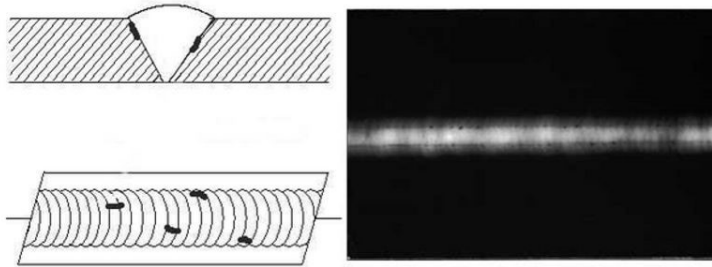
Inklusi tungsten adalah cacat yang terjadi akibat elektroda tidak terumpan (tungsten) terperangkap dalam logam lasan atau antara logam las dan logam dasar.



Gambar 2.14 Cacat Tungsten Inclusion

2.4.3 Incomplete Fusion/ Lack of Fusion

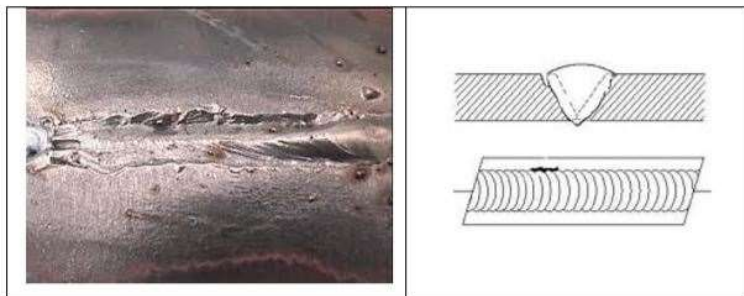
Incomplete fusion adalah suatu daerah lasan yang tidak ikut mencair dan mengakibatkan tidak bersatunya logam induk dengan logam pengisi.



Gambar 2.15 Cacat Incomplete Fusion

2.4.4 Undercut

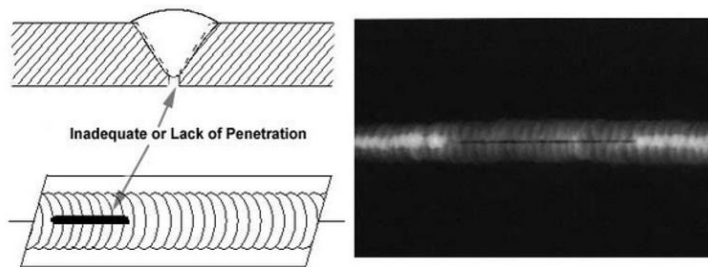
Undercut adalah cacat yang terjadi akibat ikut melelehnya sebagian logam induk pada perbatasan dengan lasan dan tidak terisi lasan secara cukup.



Gambar 2.16 Cacat Undercut

2.4.5 Incomplete Penetration

Incomplete penetration adalah cacat yang terjadi akibat tidak tembusnya logam lasan ke dalam root/akar.



Gambar 2.17 Cacat Incomplete Penetration

2.5 Pengujian Hasil Pengelasan

Pengujian untuk mengetahui kekerasan dan cacat yang terjadi pada sambungan hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik yaitu pengujian kekerasan untuk mengetahui kekerasan sambungan logam hasil pengelasan dan untuk pengujian cacat pada sambungan logam hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian radiografi.

2.5.1 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah salah satu pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu bahan. Di dalam aplikasi manufaktur, material diuji untuk dua pertimbangan, sebagai riset karakteristik suatu material baru dan juga sebagai suatu analisa mutu untuk memastikan bahwa contoh material tersebut menghasilkan spesifikasi kualitas tertentu.

Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (Friction Force), dalam hal ini bidang keilmuan yang berperan penting mempelajarinya adalah Ilmu Bahan Teknik (Metallurgy Engineering). Pengujian yang paling banyak dipakai adalah dengan menekan alat penekan tertentu pada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur

ukuran bekas penekanan yang terbentuk di atasnya, cara ini dinamakan cara uji kekerasan dengan penekanan (brinell). Di dunia teknik, penjuian kekerasan umumnya menggunakan 3 metode yaitu :

- Brinell (HB/BHN)
- Rockwell (HR/RHN)
- Vickers (HV/VHN)

2.5.1.1 Uji Kekerasan Brinell

Uji kekerasan Brinnell berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan menggunakan bola baja berdiameter 10 mm dan diberi beban 3000 kg. Untuk logam lunak, beban dikurangi hingga tinggal 500 kg, untuk menghindarkan jejak yang dalam dan untuk bahan yang sangat keras digunakan paduan karbida tungsten dengan tujuan untuk memperkecil terjadinya distorsi indenter.

Beban diterapkan selama waktu tertentu, biasanya 30 detik, dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop daya rendah setelah beban tersebut dihilangkan. Kemudian dicari harga rata-rata dari 2 buah pengukuran diameter pada jejak yang berarah tegak lurus.

Permukaan dimana lekukan akan dibuat harus relatif halus, bebas dari debu atau kerak. Angka kekerasan brinell (BHN) dinyatakan sebagai beban P dibagi luas permukaan lekukan dan dirumuskan sebagai berikut:

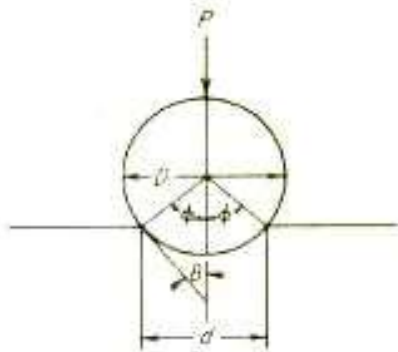
$$\text{BHN} = \frac{\text{Gaya Tekan}}{\text{Luas gaya Tekan}} = \frac{P}{\pi D/2 \{D - \sqrt{D^2 - d^2}\}} = \frac{P}{\pi D t}$$

Dimana : P = Gaya Tekan (kg)

D = Diameter bola indenter (mm)

d = Diameter tapak tekan (mm)

t = Kedalaman jejak (mm)



Gambar 2.18 Parameter dasar pada pengujian Brinell

Dari gambar di 2.18 dapat dilihat bahwa $d = D \sin \phi$. Dengan memasukkan harga ini ke persamaan diatas akan dihasilkan bentuk persamaan kekerasan Brinell yang lain, yaitu :

$$\text{BHN} = \frac{P}{(\pi/2)D^2(1-\cos \phi)}$$

2.5.1.2 Uji Kekerasan Rockwell

Uji kekerasan Rockwell paling banyak digunakan di Amerika Serikat. Hal ini dikarenakan sifat-sifatnya yaitu cepat dan bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkeras dan ukuran lekukannya kecil, sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas yang lengkap dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan. Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Mula-mula diterapkan beban kecil (beban minor) sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Kemudian diterapkan beban yang besar (beban mayor), dan secara otomatis kedalaman lekukan akan terekam oleh gage

penunjuk yang menyatakan angka kekerasan. Untuk indentornya biasanya digunakan penumbuk berupa kerucut intan 120° dengan puncak yang hampir bulat dan dinamakan *penumbuk Brale*, serta bola baja berdiameter $\frac{1}{16}$ inchi dan $\frac{1}{8}$ inchi. Beban besar yang digunakan adalah 60, 100 dan 150 kg.

Tabel 2.7 Skala Kekerasan Rockwell

Skala	Indentor	Beban minor F0 (kgf)	Beban mayor F1 (kgf)	Beban total F (kgf)
A	Kerucut intan	10	50	60
B	Bola baja $\frac{1}{16}$ "	10	90	100
C	Kerucut intan	10	140	150
D	Kerucut intan	10	90	100
E	Bola baja $\frac{1}{8}$ "	10	90	100
F	Bola baja $\frac{1}{16}$ "	10	50	60
G	Bola baja $\frac{1}{16}$ "	10	140	150
H	Bola baja $\frac{1}{8}$ "	10	50	60
K	Bola baja $\frac{1}{8}$ "	10	140	150
L	Bola baja $\frac{1}{4}$ "	10	50	60
M	Bola baja $\frac{1}{4}$ "	10	90	100
P	Bola baja $\frac{1}{4}$ "	10	140	150
R	Bola baja $\frac{1}{2}$ "	10	50	60
S	Bola baja $\frac{1}{2}$ "	10	90	100
V	Bola baja $\frac{1}{2}$ "	10	140	150

2.5.1.3 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Karena bentuk penumbuknya

piramida, maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan Vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

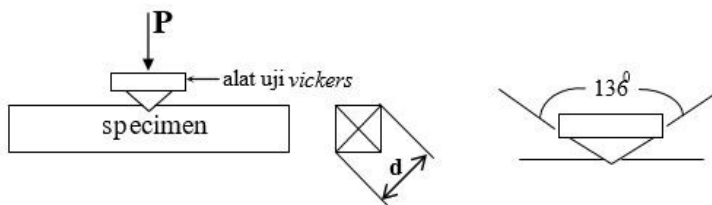
$$\text{VHN} = \frac{2P \sin(\theta/2)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2}$$

Dimana : P = Beban yang diterapkan (kg)

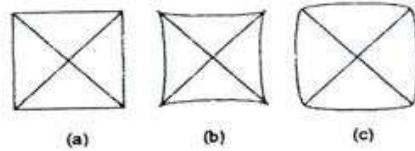
L = Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = Sudut antara permukaan intan yang berlawanan = 136°

Beban yang biasanya digunakan pada pengujian ini berkisar antara 1 sampai 120 kg, tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji. Lekukan yang benar yang dibuat oleh piramida intan harus berbentuk bujur sangkar seperti pada gambar 2.20 a. Akan tetapi penyimpangan dapat terjadi pada penumbuk lekukan. Lekukan bantal jarum pada gambar 2.20 b adalah akibat terjadinya penurunan logam di sekitar permukaan piramida yang datar. Keadaan demikian terjadi pada logam yang dilunakkan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan. Lekukan berbentuk tong pada gambar 2.20 c terdapat pada logam yang mengalami proses pengerjaan dingin.



Gambar 2.19 Skema proses uji kekerasan vickers



Gambar 2.20 Tipe-tipe lekukan piramida intan

2.5.2 Uji Radiografi

Radiografi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pengujian tanpa merusak atau Non Destructive Test (NDT). Yang dimaksud dengan pengujian tanpa merusak adalah pengujian bahan tanpa merusak bahan yang diuji, baik sifat fisik maupun kimia dari bahan tersebut, selama dan setelah pengujian tidak mengalami perubahan. Uji radiografi bertujuan untuk melihat cacat di dalam weld metal yang tidak dapat dilihat langsung dengan mata telanjang. Pengujian radiografi pada dasarnya adalah penyinaran benda uji dengan sinar bertenaga tinggi seperti X-ray dan gamma ray. Metode pengujian radiografi yaitu memancarkan sinar-sinar elektromagnetik (sinar- χ dan sinar- γ) ditembuskan kepada bahan lalu direkam dalam film khusus. Dari hasil rekaman film akan dapat diamati diskontinuiti bahan juga dapat diperoleh hasil rekaman yang permanen.

2.5.2.1 Sinar- χ

Sinar- χ dihasilkan oleh electron dengan kecepatan sinar tinggi. Energy ini kemudian diubah ke panas dan menghasilkan sinar- χ . Electron ini diarahkan ke cermin (target) dalam ruang hampa dan sinar tersebut memantul lagi melalui lubang tabung dan diteruskan menuju komponen yang diperiksa. Cara pemeriksaan yaitu bahan ditempakan diantara tabung sinar- χ dan film. Jika bahan tersebut berat dan jenisnya sama seluruhnya, film akan menerima pecahannya yang merata. Akan tetapi kalau ada cacat, seperti lubang didalam hasil

penuangan atau dalam pengelasan, maka jika film tersebut dicuci akan terlihat noda hitam.

2.5.2.2 Sinar- γ (Gamma)

Metode ini secara fundamental mirip dengan metode sinar- χ , tetapi perbedaannya adalah sumber cahayanya. Sumber cahaya gamma dihasilkan dari sumber radiasi yang dihasilkan dari isotop radioaktif dari sebuah reactor nuklir. Tidak seperti sinar- χ yang mempunyai cahaya lurus, sinar gamma ini dapat mengarah ke segala arah. Cara pemeriksaannya adalah film ditempatkan di bagian belakang benda. Apabila bahan tersebut cacat di bagian dalam maka bila filmnya dicuci akan tampak cacat hitam.

2.5.2.3 Pesawat Gamma Ray

Mesin ini digunakan untuk menyimpan, mengirim dan menyinari suatu objek yang dimana mesin tersebut berisikan sinar radioaktif. Fungsi untuk mengurangi paparan radiasi selama penggunaannya, seperti Gambar 2.21 dibawah berikut.



Gambar 2.21 Mesin Gamma-ray

2.5.2.4 Sumber Radioaktif Gamma Ray

Tidak seperti yang sumbernya dihasilkan oleh mesin yang dialiri listrik, Gamma ray menggunakan radioisotope yang digunakan untuk menyimpan sumber. Radioisotope yang digunakan dimasukkan kedalam kapsul untuk mencegah

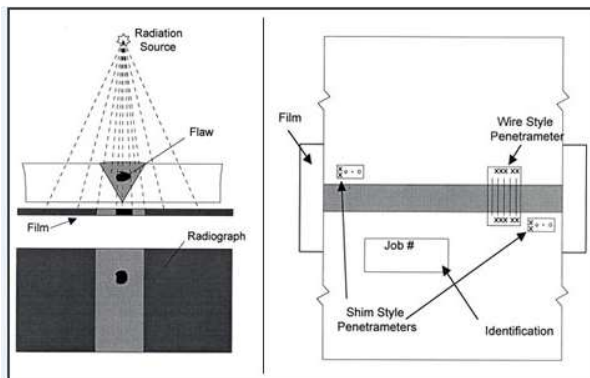
kebocoran radiasi. Setelah radioisotope dimasukkan kedalam kapsul barulah kapsul diberi muatan atau sumber yang berfungsi sebagai pemancar saat digunakan untuk pengujian radiografi. Kapsul tersebut digunakan sebagai kabel untuk membentuk “Pigtail“, Pigtail mempunyai konektor khusus pada ujungnya yang menyambungkan ke kabel yang digunakan untuk mengeluarkan sumber dari kamera gamma ray.



Gambar 2.22 Sumber Radioaktif Isotop Material

2.5.2.5 Prinsip Kerja Radiografi

Material yang akan dilakukan pengujian diletakkan dibawah sumber radiasi. Ketika sumber sinar- γ / gamma ray dipancarkan ke material maka, radiasi akan menembus materal, bagian terdalam material yang terdapat cacat maka akan terekam film yang berwarna lebih gelap, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.23 Skema pengujian radiografi

2.5.2.6 Metode Pengujian Radiografi

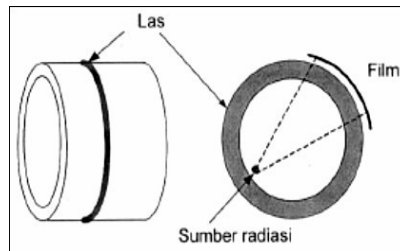
Dalam pengujian radiografi ini memiliki berbagai ragam metode bentuk pengujian sesuai kebutuhan dan kondisi suatu konstruksi ataupun produk untuk mempermudah dalam melakukan pengujian radiografi tersebut yaitu :

1. Single Wall Single Viewing (SWSV)

Teknik penyinaran dengan melewati radiasi pada suatu dinding las benda uji dan pada film tergambar satu bagian dinding las untuk di interpretasi. Teknik single wall single viewing meliputi:

- Internal Source Technique

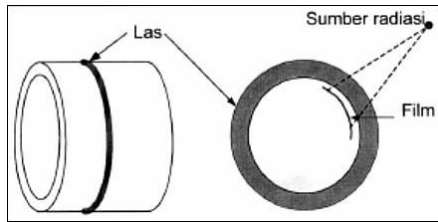
Teknik ini dapat dilakukan dengan meletakkan sumber radiasi di dalam benda uji dan film di luar benda uji seperti ditunjukkan pada Gambar 2.24 dibawah berikut.



Gambar 2.24 *Internal source image internal film technique*

- Internal film technique

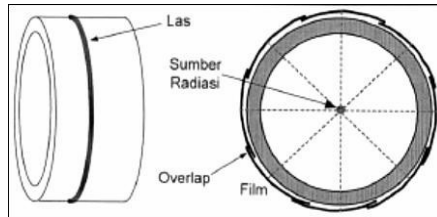
Film di dalam benda uji dan sumber radiasi di luar benda uji. Biasanya teknik ini dilakukan ketika benda uji cukup besar dimana diameter dalam benda uji minimal sama dengan source film distance minimal dan ada akses masuk ke dalam pipa, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.25 dibawah berikut.



Gambar 2.25 *Internal film technique*

- **Panaromic Technique**

Teknik ini dilakukan dengan menempatkan sumber di sumbu benda uji untuk mendapatkan film hasil radiografi sekeliling benda uji dengan sekali penyinaran, seperti yang di tunjukkan Gambar 2.26 dibawah berikut.



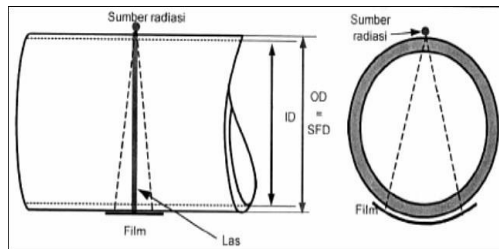
Gambar 2.26 *Panaromic technique*

2. *Double Wall Single Viewing (DWSV)*

Metode *double wall single viewing* ini diterapkan pada benda uji berupa pipa dengan diameter lebih dari 100 mm. Posisi sumber sedemikian rupa sehingga radiasi melalui dua dinding las sedangkan pada *film* hanya tergambar satu dinding las yang dekat dengan *film* untuk diinterpretasi. Teknik *double wall single viewing* meliputi:

- *Contact technique*

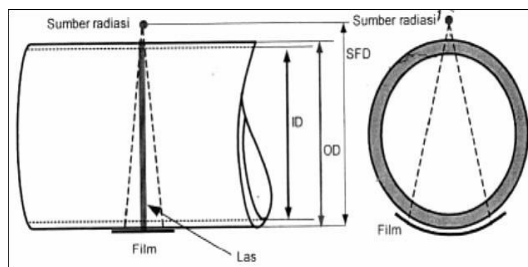
Teknik ini dilakukan dengan melekatkan sumber ke permukaan lasan benda uji. Diameter luar benda uji besarnya minimal sama atau lebih besar dari *source film distance* minimal untuk bisa dilakukan tehnik ini. seperti yang ditukkan pada Gambar 2.27 dibawah berikut:



Gambar 2.27 *Contact technique*

- *Non contact technique*

Teknik ini dilakukan jika diameter benda uji besarnya lebih kecil dari *source film distance* minimal maka penempatan sumber dapat diletakkan agak jauh dari permukaan tetapi diatur sedemikian rupa hingga dinding atas las tidak tergambar pada *film*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.28 dibawah berikut:



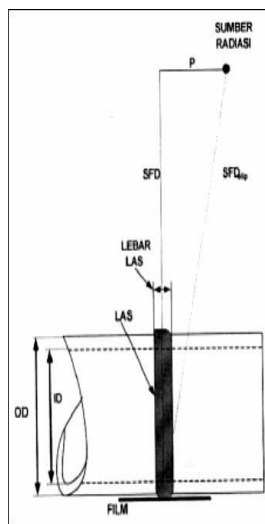
Gambar 2.28 *Non contact technique*

3. *Double Wall Double Viewing (DWDV)*

Benda uji dengan diameter luar yang kecil tidak mungkin diterapkan teknik *single wall single viewing* maupun *double wall single viewing*. Beberapa standar merekomendasikan teknik *double wall double viewing* diterapkan pada benda uji berupa Pipa dengan diameter kurang dari 100 mm. Teknik *double wall double viewing* merupakan teknik penyinaran dengan posisi sumber radiasi sedemikian rupa sehingga radiasi menembus kedua dinding benda uji dan pada *film* tergambar kedua dinding las tersebut untuk diinterpretasi. Teknik *double wall double viewing* meliputi:

- *Ellips technique*

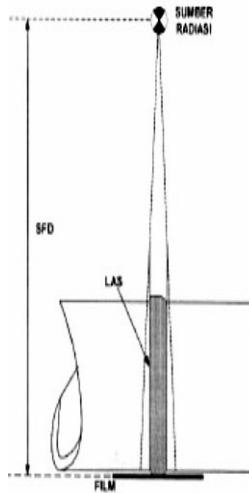
Teknik ini dilakukan dengan posisi sumber radiasi membentuk sudut tertentu terhadap bidang normal las sehingga gambar kedua bagian dinding benda uji berbentuk *ellips*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.29 dibawah berikut:



Gambar 2.29 *Ellips technique*

- *Superimposed technique*

Sebagai alternatif bila teknik elips tidak dapat diterapkan maka teknik *double wall double viewing* dilakukan dengan meletakkan sumber tegak lurus terhadap benda uji sehingga gambar kedua dinding benda uji bertumpuk, seperti yang di tunjukkan Gambar 2.30 dibawah berikut:



Gambar 2.30 *Superimposed technique*

2.5.2.7 Pemilihan Image Quality indicator (IQI)

Pemilihan image quality indicator (IQI) yang tepat merupakan hal yang penting dalam peembakan produk pengelasan karena hal tersebut terkait dengan sensitifitas suatu film radiografi. Sensitifitas merupakan ukuran kualitas dari suatu film terkait dengan detail dan cacat terkecil yang bisa diamati. IQI yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan wire type dan penempatan marker memilih metoda film side. Berdasarkan Table 2.8 diketahui produk las dengan ketebalan tertentu selanjutnya akan didapatkan nilai wire-type essential wire.

Tabel 2.8 Pemilihan Image Quality Indicator

Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm)	IQI					
	Source Side			Film Side		
	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire
Up to 0.25, incl. (6.4)	12	2T	5	10	2T	4
Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5)	15	2T	6	12	2T	5
Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7)	17	2T	7	15	2T	6
Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0)	20	2T	8	17	2T	7
Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4)	25	2T	9	20	2T	8
Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1)	30	2T	10	25	2T	9
Over 1.50 through 2.00 (38.1 through 50.8)	35	2T	11	30	2T	10
Over 2.00 through 2.50 (50.8 through 63.5)	40	2T	12	35	2T	11
Over 2.50 through 4.00 (63.5 through 101.6)	50	2T	13	40	2T	12
Over 4.00 through 6.00 (101.6 through 152.4)	60	2T	14	50	2T	13
Over 6.00 through 8.00 (152.4 through 203.2)	80	2T	16	60	2T	14
Over 8.00 through 10.00 (203.2 through 254.0)	100	2T	17	80	2T	16
Over 10.00 through 12.00 (254.0 through 304.8)	120	2T	18	100	2T	17
Over 12.00 through 16.00 (304.8 through 406.4)	160	2T	20	120	2T	18
Over 16.00 through 20.00 (406.4 through 508.0)	200	2T	21	160	2T	20

Setelah didapatkan nilai wire type wire essential atau wire identity maka selanjutnya menuju Table 2.9 dibawah berikut mengacu pada table 2.8.

Tabel 2.9 Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity

Set A			Set B		
Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity	Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity
0.0032	(0.08)	1	0.010	(0.25)	6
0.004	(0.10)	2	0.013	(0.33)	7
0.005	(0.13)	3	0.016	(0.41)	8
0.0063	(0.16)	4	0.020	(0.51)	9
0.008	(0.20)	5	0.025	(0.64)	10
0.010	(0.25)	6	0.032	(0.81)	11

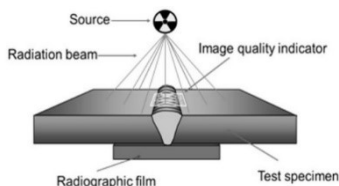
Set C			Set D		
Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity	Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity
0.032	(0.81)	11	0.100	(2.54)	16
0.040	(1.02)	12	0.126	(3.20)	17
0.050	(1.27)	13	0.160	(4.06)	18
0.063	(1.60)	14	0.200	(5.08)	19
0.080	(2.03)	15	0.250	(6.35)	20
0.100	(2.54)	16	0.320	(8.13)	21

Kemudian didapatkan data wire diameter berdasarkan data yang diperoleh pada tahap sebelumnya. Wire diameter menunjukkan ukuran cacat atau diskontinuitas terkecil yang

dapat terlihat pada film radiografi tersebut. Wire identity menunjukkan nomor wire minimal yang muncul pada film.

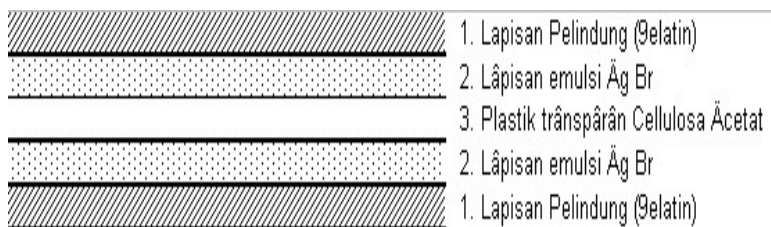
2.5.2.8 Film Radiografi

Salah satu alat yang digunakan dalam pengujian radiografi adalah film. Film berfungsi untuk merekam gambar benda uji yang diperiksa. Bahan dasar film terbuat dari bahan sejenis plastik transparan yaitu selulosa acetat, yang mempunyai sifat fleksibel, ringan, tidak mudah pecah, dan tembus cahaya. Kedua permukaannya dilapisi suatu emulsi yang mengandung persenyawaan AgBr(perak bromida), untuk melindungi lapisan emulsi agar tidak cepat rusak maka di atasnya dilapisi lagi dengan gelatin, seperti pada Gambar 2.29 menunjukkan penyinaran menggunakan film.



Gambar 2.31 Penyinaran menggunakan Film Radiografi

Secara detail nama-nama bagian film radiografi dapat dilihat pada Gambar 2.32 berikut:



Gambar 2.32 Penampang film radiografi dan jenis bagiannya

2.5.2.9 Sensitivitas Film Radiografi

Sebelum film radiografi dipakai sebagai alat uji tanpa merusak, kita harus mengetahui seberapa akurat alat tersebut. Sensitivitas film radiografi adalah fungsi dari contrast dan definition dari film radiografi tersebut. Sensitivitas radiografi berhubungan dengan ukuran detail diskontinuitas terkecil yang dapat dilihat pada film hasil radiografi atau kemudahan gambar detail diskontinuitas terkecil untuk dapat dideteksi. Sensitivitas radiografi memiliki kualitas citra yang baik maka dapat mendeteksi diskontinuitas yang baik. Dalam setiap pengujian radiografi digunakan alat uji standart yang disebut penetrameter atau yang sering disebut image quality indicator (IQI). Pemilihan parameter dan penempatannya harus sesuai dengan standart yang digunakan.

IQI ada 2 macam yaitu wire dan hole, akan tetapi semakin seringnya penggunaan radiografi dalam pengujian sering sekali menggunakan type wire dikarenakan lebih praktis dan tentunya cepat tidak seperti halnya IQI hole karena harus terlebih dahulu mengukur tebal yang akan diuji dengan radiografi sehingga apabila ada perbedaan ketebalan maka diberi pemasangan ganjal IQI atau yang sering disebut “shims”, maka pengujian ini memilihlah IQI yang bermodelkan wire atau yang sering disebut kawat standart IQI ASTM/ASME yang terdiri atas 21 kawat, yang disusun menjadi 4 set dimana setiap set berisi 6 kawat.



Gambar 2.33 *Wire image quality indicator*

Sensitivitas indikator kualitas bayangan tipe kawat adalah persentase perbandingan diameter kawat terkecil yang tergambar pada film hasil uji radiografi terhadap ketebalan material. Fungsi IQI antara lain:

1. Digunakan sebagai media pengukur tingkat kualitas radiografi.
2. Menentukan kualitas gambar radiografi.

2.5.2.10 Densitas (Kehitaman) Film Radiografi

Densitas film radiografi ialah tingkat kegelapan pada film radiografi yang telah selesai diproses dan densitas radiografi dilakukan pada daerah pemeriksaan atau yang biasa disebut area of interest pada densitas minimal dan maksimal namun bukan pada tempat yang ditafsirkan sebagai sebuah diskontinuitas. Film radiografi dinyatakan memenuhi kualitas bila densitas yang diukur pada tempat-tempat diatas memiliki rentang tertentu, yang nilainya tergantung pada prosedur atau spesifikasi ataupun standart yang digunakan. Pada ASME Sec.V 2015 untuk gamma-ray mempunyai rentang nilai densitas 2 sampai 4. Selain itu ASME Sec.V 2015 juga menetapkan batasan variasi densitas tidak mengijinkan -15% dan +30%.

Densitometer adalah sebuah peralatan ilmiah yang dirancang untuk mengukur tingkat kehitaman suatu film radiografi dengan output menunjukan suatu angka tingkat kehitaman.



Gambar 2.34 Densitometer

2.5.2.11 Interpretasi Hasil Film Radiografi

Setelah dilakukan penembakan lalu dilakukan interpretasi terhadap film radiografi menggunakan alat viewer dan alat mengukur tingkat kegelapan yaitu densitometer. Interpretasi bertujuan untuk melihat dan menentukan suatu cacat pada produk pengelasan, densitas, variasi densitas, dan sensitivitas film radiografi. Yang kemudian hasil dari interpretasi akan dinilai dan dibandingkan dengan film-film dari hasil berbeda kondisi dan berbagai source film distance penembakan radiografi. Penilaian akan dilihat pada densitas, variasi densitas dan sensitivitas apa sudah memenuhi syarat keberterimaan sesuai ASME Sec.V 2010.



Gambar 2.35 Viewer

2.5.2.12 Klasifikasi Jenis Film Radiografi

Film radiografi yang dapat diklasifikasikan dengan cara mengkombinasikan faktor – faktor dan karakteristik film.

Setiap perusahaan film memproduksi berbagai macam jenis film yang dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Film screen fluorescent yaitu film yang dalam penggunaannya memerlukan screen pengintensif fluorescent dan dapat menghasilkan film dengan penyinaran yang minimum.
2. Film langsung yaitu film yang dalam penggunaannya tidak memerlukan screen atau untuk penyinaran menggunakan screen timbal.

Tabel 2.10 Film AGFA GEVAERT

Jenis Film	Faktor Paparan Relatif					Kelas ISO	Kelas DIN	Kelas ASTM
	100 kV	200 kV	Ir-192	Co-60	LINAC/ 8 MeV			
D2	10,6	8,7	9	10	10	GI	G1	Spesial
D3	10,6	8,7	-	-	-	GI	G1	I
D3	4,1	4,2	5	5,1	5,1	GI	G1	I
D4	3,1	2,6	3	3,1	3,1	GI	G2	I
D5	1,8	1,6	1,5	1,5	1,5	GII	G2	I
D7	1	1	1	1	1	GIII	G3	II
D8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	GIII	G4	II
D6R	2	1,7	1,7	1,7	1,3	GIII	-	II

2.5.2.13 Pemilihan Film Radiografi

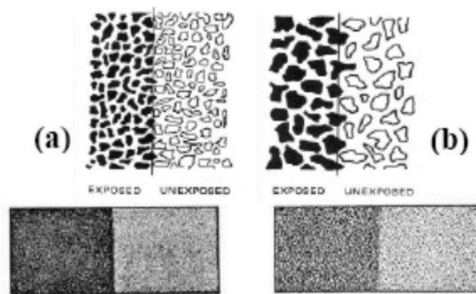
Pemilihan film untuk radiografi tergantung pada beberapa faktor yang berbeda. Faktor tersebut harus dipertimbangkan saat memilih film dan mengembangkan teknik radiografi. Faktor – faktor tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Komposisi, bentuk, dan ukuran dari bagian yang akan diperiksa. Pada beberapa kasus dipertimbangkan pula berat dan lokasinya.
2. Tipe dari radiasi yang digunakan seperti sinar- γ dari sumber radioaktif atau sinar-x dari sistem pembangkit sinar-x.
3. Intensitas dari sumber radiasi sinar- γ atau tegangan yang tersedia dari pesawat sinar-x.
4. Tingkat detail dari gambar hasil radiografi dan segi ekonomi.

Pemilihan film untuk radiografi pada benda uji terutama tergantung dari ketebakan dan jenis material yang diuji serta rentang intensitas sumber (Ci) yang tersedia pada sumber

gamma-ray. Pemilihan film juga tergantung kepada kualitas radiografi yang diinginkan dan waktu penyinaran. Jika kualitas radiografi yang diinginkan berkualitas tinggi maka digunakan film lambat (film dengan butiran lebih halus) harus digunakan. Jika menginginkan waktu penyinaran yang pendek maka digunakan film cepat.

Untuk detail butiran film dapat dilihat pada Gambar 2.36 dibawah ini. Butiran film mempengaruhi definition film radiografi. Film berbutir besar (film cepat) seringkali dipakai untuk mengurangi waktu eksposur sedangkan film berbutir kecil (film lambat) menghasilkan definition terbaik.



Gambar 2.36 Struktur butir film lambat (a) dan film cepat (b)

2.5.2.14 Pemrosesan Film Radiografi

Saat eksposur selesai dilakukan, selanjutnya film diproses sehingga citra laten yang dihasilkan oleh radiasi akan nampak. Pada dasarnya terdapat tiga larutan pemroses yang dipakai untuk mengubah suatu film yang telah terekspos menjadi film radiografi. Langkah – langkah pemrosesan film berdasarkan urutan larutan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Developer

Developer adalah suatu larutan kombinasi zat kimia yang masing-masing memiliki fungsi penting. Salah satu zat kimianya adalah reducer yang terbuat dari metol atau

hydroquinone. Fungsinya adalah untuk mereduksi butiran perak bromida yang terekspos menjadi logam perak berwarna hitam. Seluruh bagian film tidak berubah menjadi hitam karena reducer dapat membedakan antara butiran yang terekspos dengan yang tidak terekspos. Densitas (tingkat kegelapan) ditentukan oleh jumlah butiran perak bromida yang direduksi oleh developer.

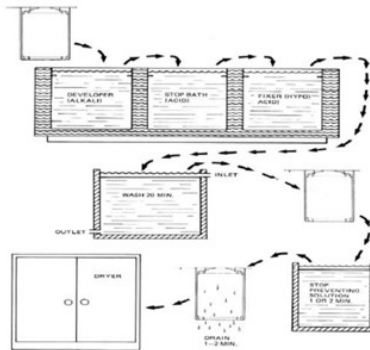
2. Stop Bath

Apabila sebuah film dikeluarkan dari dalam larutan developer maka sejumlah kecil larutan basa akan tertinggal di film tersebut. Zat kimia yang digunakan di dalam stop bath biasanya adalah asam asetat glacial. Stop bath memiliki dua fungsi yaitu:

- Menghentikan aksi developing dengan cara menetralkan zat basa developer (basa dan asam saling menetralkan).
- Menetralkan zat basa developer sebelum film dimasukkan ke dalam cairan fixer sehingga memperpanjang usia fixer.

3. Fixer

Fixer secara permanen mengefixkan citra pada film. Di dalam developer, butiran perak bromida direduksi menjadi logam perak. Fixer menghilangkan semua butiran perak yang tidak terekspos dari dalam film. Di dalam proses fixing terdapat dua tahap yang terpisah. Setelah pemrosesan dengan zat kimia, film dicuci dan dikeringkan. Film tersebut kadang kala dicelupkan dalam suatu larutan untuk mencegah timbulnya bintik-bintik air. Larutan ini membuat air mudah membasahi film dan menghasilkan pengeringan merata. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 2.37 dibawah ini.



Gambar 2.37 Skema diagram pemrosesan film radiografi

2.5.3 Uji Metalografi

Ilmu logam dibagi menjadi dua bagian khusus, yaitu metalurgi dan metalografi. Metalurgi adalah menguraikan tentang cara pemisahan logam dari ikatan unsur lain atau cara pengolahan logam secara teknis, sehingga diperoleh jenis logam atau logam paduan yang memenuhi kebutuhan tertentu. Sedangkan metalografi adalah mempelajari tentang pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur dan persentase campuran dari logam tersebut.

Metalografi meliputi tahap-tahap sebagai berikut :

1. Cutting, yaitu mengetahui prosedur proses pemotongan sampel dan menentukan teknik pemotongan yang tepat dalam pengambilan sampel metalografi sehingga didapat benda uji yang representatif.
2. Mounting, yaitu menempatkan sampel pada suatu media, untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil dan tidak beraturan tanpa merusak sampel.
3. Grinding, yaitu meratakan dan menghaluskan permukaan sampel dengan cara menggosokkan sampel pada kain abrasif atau ampelas.

4. Pemolesan (Polishing), yaitu mendapatkan permukaan sampel yang halus dan mengkilat seperti kaca tanpa menggores, sehingga diperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin, menghilangkan ketidakrataan sampel hingga orde 0,01 μm .
5. Etsa, yaitu mengamati dan mengidentifikasi detail struktur logam dengan bantuan mikroskop optik setelah terlebih dahulu dilakukan proses etsa pada sampel, mengetahui perbedaan antara etsa kimia dengan elektro etsa serat aplikasinya.

2.5.3.1 Uji Makro (*Macroscopic Examination*)

Yang dimaksud dengan pemeriksaan makro adalah pemeriksaan bahan dengan mata kita langsung atau memakai kaca pembesar yaitu yang dengan pembesaran rendah (*a low magnification*). Kegunaannya untuk memeriksa permukaan yang terdapat celah-celah, lubang-lubang pada struktur logam yang sifatnya rapuh, bentuk-bentuk patahan benda uji bekas pengujian mekanis yang selanjutnya dibandingkan dengan beberapa logam menurut bentuk dan strukturnya antara satu dengan yang lain menurut kebutuhannya. Angka pembesaran pemeriksaan makro antara 0,5 kali sampai 50 kali. Pemeriksaan secara makro biasanya untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar dan kasar, seperti misal logam hasil coran atau tuangan, serta bahan-bahan yang termasuk non metal.

2.5.3.2 Uji Mikro (*Microscopic Examination*)

Yang dimaksud dengan pemeriksaan mikro ialah pemeriksaan bahan logam di mana bentuk kristal logam tergolong halus sehingga diperlukan angka pembesaran lensa

mikroskop antara 50 kali sampai 3000 kali atau lebih dengan menggunakan mikroskop industri.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

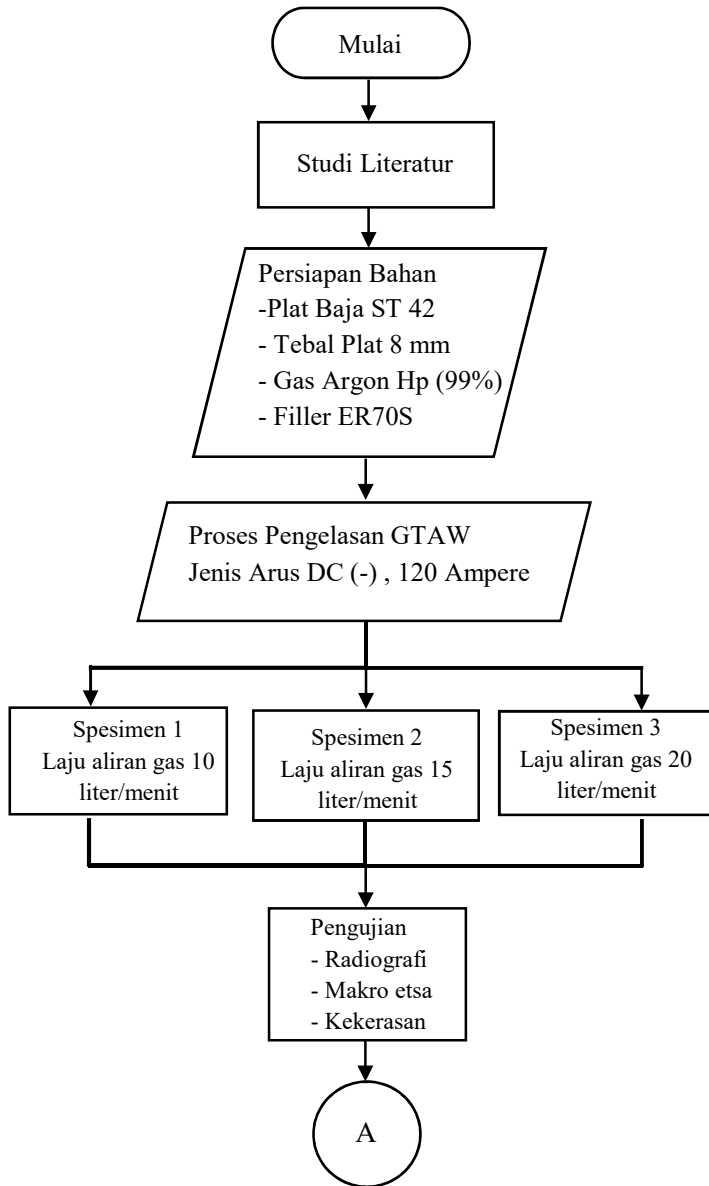
3.1 Rancangan Percobaan

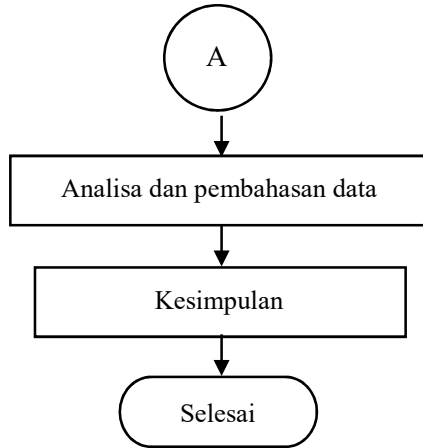
Metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Penelitian ini menggunakan eksperimen untuk mencari pengaruh pengelasan baja ST 42 menggunakan filler ER 70S dengan perbedaan laju aliran gas terhadap cacat las, lebar HAZ dan kekerasan. Eksperimen dan pengujian dilakukan di Workshop Departemen Teknik Mesin Industri FV – ITS Surabaya, PT. Algas Mitra Sejati dan PT. Spektra Megah Semesta. Parameter yang akan diamati dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Cacat las ; menganalisa cacat yang terjadi dalam logam lasan dengan menggunakan pengujian radiografi.
2. Lebar HAZ : mengamati dan mengukur ukuran lebar pada bagian HAZ dengan menggunakan pengujian makro etsa.
3. Kekerasan; kekerasan pada logam las , HAZ dan logam induk, pengujian kekerasan rockwell.

3.2 Diagram Alir (Flow Chart)

Dalam memperoleh hasil yang diharapkan, dalam penelitian memerlukan langkah-langkah yang sistematis sehingga perlu disusun diagram alir penelitian. Diagram alir tersebut akan memudahkan juga bagi orang lain memahami langkah-langkah yang dilakukan peneliti. Diagram alir penelitian yang dilakukan pada percobaan ini adalah sebagai berikut :





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Persiapan Bahan dan Peralatan

3.3.1 Persiapan Bahan

Bahan yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Material plat baja ST 42 sebagai bahan spesimen dengan tebal 8 mm.
- Filler ER 70 S digunakan sebagai logam pengisi lasan dengan diameter 1,6 mm.

Dimensi ukuran benda kerja sebagai berikut :



Gambar 3.2 Dimensi Material



Gambar 3.3 Sudut *bevel* 30° dengan tebal plat 8 mm



Gambar 3.4 Material dengan Sudut *bevel* 30°

3.3.2 Persiapan Alat

Alat yang perlu dipersiapkan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin las GTAW
2. Mesin Gergaji
3. Mesin Gerinda
4. Alat Uji Radiografi
5. Alat Uji Kekerasan Rockwell
6. Stopwatch
7. Tang Ampere

3.3.3 Persiapan Spesimen (Benda Kerja)

Dalam penelitian ini harus dipersiapkan spesimen awal dengan rincian adalah sebagai berikut :

- Plat Baja Karbon ST 42 dengan dimensi 300mm x 100mm x 8mm sebanyak 6 lembar.
- Bagian plat yang akan di las diratakan dan dibentuk sudut bevel dengan kemiringan 30° seperti gambar dengan mesin milling atau mesin gerinda tangan.
- Pembersihan terhadap kotoran yang ada dipermukaan material yang akan di las dengan gerinda tangan.
- Spesimen siap disambung.

3.4. Pengelasan

Dalam penelitian ini, jenis las yang digunakan adalah gas tungsten arc welding (GTAW) / Tungsten inert gas (TIG). Dalam proses pengelasan ini dilakukan dengan parameter yang telah ditentukan adalah sebagai berikut :

1. Pengelasan dengan laju aliran gas 10 liter / menit dan arus 120 Ampere.
2. Pengelasan dengan laju aliran gas 15 liter / menit dan arus 120 Ampere.
3. Pengelasan dengan laju aliran gas 20 liter / menit dan arus 120 Ampere.



Gambar 3.5 Proses pengelasan



Gambar 3.6 Mesin Las TIG



Gambar 3.7 Tang *Ampere*

Tabel 3.1 Logam Induk ST 42

Komposisi Kimia (%)				Sifat Mekanik		
C	N	Mn	S & P	Kekuatan Tarik min.	Tegangan Luluh min.	Regangan min.
0,20	0,009	1,6	0,045	420 kgf/mm ²	235 kgf/mm ²	18 %

Tabel 3.2 Logam Pengisi ER 70S-6

Nama	Keterangan
AWS Classification	ER 70S-6
Filler metal diameter	1,6 mm
Ampere	100 – 140 A
Argon	20 cfh / 10 lpm
Posisi pengelasan	1G

Tabel 3.3 Parameter Pengelasan

Parameter	Layer		
Number/pass	<i>1 (root)</i>	<i>2 (fill)</i>	<i>3 (capping)</i>
Proses	GTAW	GTAW	GTAW
Travel speed,mm/min	97,76	117,12	114,4
Amperage	120	120	120
Polaritas AC/DC	DC(-)	DC(-)	DC(-)
Voltage	12	12	12
Electrode diameter (mm)	1,6	1,6	1,6

3.5 Pengambilan Data

Seluruh spesimen hasil dari pengelasan menggunakan filler ER 70S-6 dengan laju aliran gas 10 liter / menit , 15 liter / menit ,dan 20 liter / menit.

3.5.1 Pengujian Radiografi

Untuk pengujian radiografi dilakukan pengambilan spesimen total 3 spesimen yang akan diuji masing-masing variasi berjumlah 3 spesimen yaitu spesimen yang pengelasannya menggunakan laju aliran gas 10 liter / menit , 15 liter / menit ,dan 20 liter / menit.



Gambar 3.8 Alat uji radiografi Ir – 192

Langkah-langkah pengujian radiografi :

- 1) Menyiapkan spesimen.
 - Ambil spesimen dan bersihkan dari kotoran.
 - Bersihkan bekas-bekas *slug* jika masih terdapat pada plat.
 - Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen.
 - 2) Pemberian identitas pada spesimen dan film.
 - Ambil spesimen dan ukur dimensinya.
 - Menempelkan blok huruf-huruf lalu di plester di bagian belakang spesimen sebagai identitas yang akan tampak pada hasil radiografi.
 - Tempelkan film AGFA D7 pada spesimen yang akan di uji radiografi.
 - Pemilihan Image Quality Indicator dan menempelkan kawat peny diatas benda kerja.
 - Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen.
- Pemilihan *Wire IQI (Image Quality Indicator)*.

Tabel 3.4 Pemilihan *image quality indicator*

Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm)	IQI					
	Source Side			Film Side		
	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire
Up to 0.25, incl. (6.4)	12	2T	5	10	2T	4
Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5)	15	2T	6	12	2T	5
Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7)	17	2T	7	15	2T	6
Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0)	20	2T	8	17	2T	7
Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4)	25	2T	9	20	2T	8
Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1)	30	2T	10	25	2T	9
Over 1.50 through 2.00 (38.1 through 50.8)	35	2T	11	30	2T	10
Over 2.00 through 2.50 (50.8 through 63.5)	40	2T	12	35	2T	11
Over 2.50 through 4.00 (63.5 through 101.6)	50	2T	13	40	2T	12
Over 4.00 through 6.00 (101.6 through 152.4)	60	2T	14	50	2T	13
Over 6.00 through 8.00 (152.4 through 203.2)	80	2T	16	60	2T	14
Over 8.00 through 10.00 (203.2 through 254.0)	100	2T	17	80	2T	16
Over 10.00 through 12.00 (254.0 through 304.8)	120	2T	18	100	2T	17
Over 12.00 through 16.00 (304.8 through 406.4)	160	2T	20	120	2T	18
Over 16.00 through 20.00 (406.4 through 508.0)	200	2T	21	160	2T	20

Table 3.5 *Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity*

Set A			Set B		
Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity		Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity	
0.0032 (0.08)	1		0.010 (0.25)	6	
0.004 (0.10)	2		0.013 (0.33)	7	
0.005 (0.13)	3		0.016 (0.41)	8	
0.0063 (0.16)	4		0.020 (0.51)	9	
0.008 (0.20)	5		0.025 (0.64)	10	
0.010 (0.25)	6		0.032 (0.81)	11	

Ukuran – ukuran kawat yang harus terlihat di *film*

3) Pengujian pada spesimen.

- Mencatat data mesin pada benda kerja.
- Penempatan spesimen pada ujung penyinaran dari alat uji radiografi.
- Atur ketinggian dari ujung penyinaran uji radiografi terhadap benda kerja yang akan diuji.
- Penyinaran yang dilakukan yakni SWSV (*Single Wall Single Viewing*).
- Menjauh dari benda kerja yang akan di uji sampai zona aman radiasi.
- Lakukan penyinaran pada benda kerja.

4) Pencucian *film* setelah proses radiografi.

- Setelah aman lalu ambil benda kerja dan lepaskan film untuk dilakukan pencucian.
 - Cuci film dengan menggunakan cairan *developer*, *stopbath*, *fixer*.
 - Lama pencucian :

<i>Developer</i>	: 240 detik
<i>Stopbath</i>	: 120 detik
<i>Fixer</i>	: 160 detik
- 5) Evaluasi *film* hasil uji radiografi.
- Ukur tingkat kehitaman *film* dengan densitometer dan bandingkan nilai yang dihasilkan dengan yang diijinkan pada pengujian radiografi (nilai yang diijinkan yakni 2-4).
 - Lihat hasil uji radiografi berupa film pada viewer
 - Ulangi langkah diatas unruk seluruh spesimen.
- Berikut urutan proses pengujian radiografi :



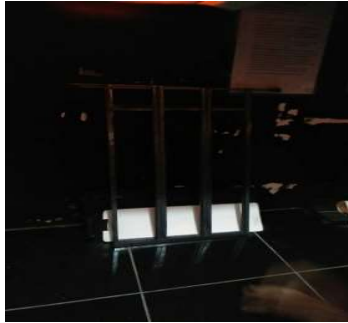
Gambar 3.9 Pemberian identitas pada spesimen



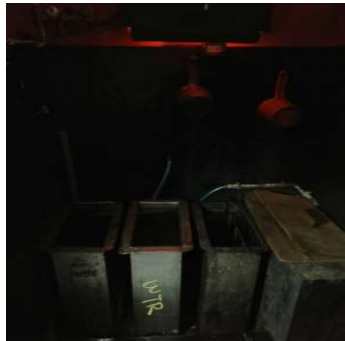
Gambar 3.10 Spesimen Uji Radiografi



Gambar 3.11 Proses Uji Radiografi



Gambar 3.12 Proses pencucian film setelah proses radiografi



Gambar 3.13 Cairan *Developer*, *Stop bath*, *Fixer*



Gambar 3.14 *Viewer*

3.5.2 Pengujian Metalografi (Macro Etsa)

Untuk proses Pengujian Metalografi dibagi menjadi 2 yaitu pengamatan makro test dan mikro test.

- Makro test

Bertujuan untuk melihat secara visual hasil dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu proses mereaksikan spesimen dengan larutan kimia (cairan HNO_3 (2 mL) +Alkohol (98 mL)), agar didapat hasil yaitu pada spesimen hasil pengelasan bagian *Weld Metal*, *HAZ*, dan *Base Metal* akan terlihat.

Prosedur pengujian *metalography* adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen uji
Benda kerja di belah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian *metalography* dilakukan pada 2 bidang pada satu spesimen.
2. Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan dilakukan menggunakan mesin *grinding* dengan tingkat kekasaran kertas gosok mulai dari 100, 400, 800, 1000 dengan disertai aliran air pendingin. Fungsinya adalah untuk melarutkan geram. Setelah menggunakan kertas gosok, spesimen dipoles dengan menggunakan autosol dan kain jeans.
3. Spesimen yang sudah mengkilap disterilkan terlebih dahulu dengan alkohol. Kemudian direndam dalam cairan etsa selama ± 5 menit sampai *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal*

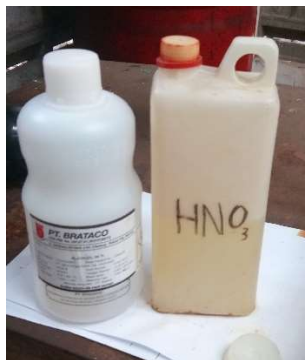
terlihat. Kemudian spesimen dikeringkan dengan *hair dryer* dengan cepat. Berikut alat dan bahan yang digunakan untuk pengetsaan benda uji (*Test piece*) :



Gambar 3.15 Spesimen sebelum di etsa



Gambar 3.16 Peralatan untuk Proses Etsa



Gambar 3.17 Larutan Etsa



Gambar 3.18 Kertas Gosok



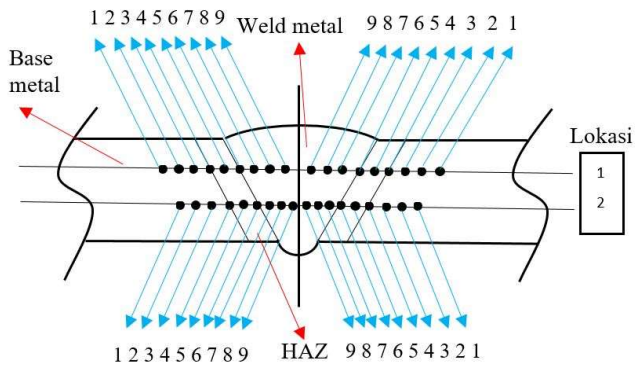
Gambar 3.19 Proses pengetsaan

4. Pengambilan gambar makro dan mikro spesimen.

3.5.3 Pengujian Kekerasan Rockwell

Dalam penelitian ini pengujian kekerasan Rockwell menggunakan indentor bola 1/16 inchi (HRB). Pada pelaksanaannya, pembebanan diawali dengan beban awal 10 kg dan jarum penunjuk di set pada angka nol skala merah kemudian beban mayor diberikan maka jarum penunjuk akan bergerak, tunggu sampai berhenti bergerak, setelah berhenti bergerak lihat angka kekerasan pada indikator skala dial di alat uji.

Menentukan titik kekerasan yang akan diuji pada bagian permukaan material. Titik yang diuji antara lain sebagai berikut :



Gambar 3.20 Titik identasi pengujian kekerasan Rockwell

Tabel 3.6 Perencanaan hasil proses uji kekerasan

No	Titik identasi	Lokasi	
		1	2
1	1		
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		
6	6		
7	7		
8	8		
9	9		

10	10		
11	11		
12	12		

Prosedur pengujian kekerasan adalah sebagai berikut:

1. Gunakan kertas gosok hingga permukaan (atas dan bawah) benda kerja rata, halus, serta bebas dari kotoran, minyak, dan benda asing.
2. Memasang indentor pada *Housing Identor* gunakan indentor bola 1/16 inchi untuk *Rockwell B*.
3. *Dashpot*/pengatur beban diatur pada pembebanan *100 kgf* (untuk *Rockwell B*).
4. Putarlah *Handwheel* untuk mengangkat landasan dengan perlahan hingga jarum penunjuk kecil pada dial berada pada tanda merah atau jarum penunjuk besar berputar tiga kali dan berhenti dititik 0 (*Minor Weight*).
5. Tariklah *Handle* untuk mengaplikasikan gaya uji utama (*Mayor Weight*), pada saat itu jarum penunjuk besar pada dial berputar berlawanan dengan arah jarum jam dan *Main Handle* bergerak ke posisi 1.
6. Tunggu jarum penunjuk besar berhenti, doronglah *Main Handle* pada kondisi semula (posisi 0) dengan perlahan .
7. Melihat dan mencatat angka kekerasan yang ditunjuk jarum besar pada skala dial skala merah untuk *Rockwell B*.
8. Putarlah *Handwheel* untuk menurunkan landasan, lakukan identasi pada titik yang telah ditentukan (ulangi prosedur 4-8).

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana pengaruh perbedaan laju aliran gas argon dengan laju aliran 10 liter/menit, 15 liter/menit, dan 20 liter/menit dengan arus 120 ampere pada hasil lasan baja ST 42 dengan metode pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) melalui 3 pengujian, yaitu radiografi, makro etsa dan kekerasan.

4.1 Parameter Pengelasan

Tabel 4.1 Data Primer Pengelasan

Panjang Pengelasan Plat = 300mm			
Variasi Laju Aliran Gas	No. Layer	Waktu	Kecepatan Pengelasan (mm/s)
10 liter/menit	1	3' 00"	1,667
	2	2' 32"	1,973
	3	2' 35"	1,935
15 liter/menit	1	3' 13"	1,554
	2	2' 35"	1,935
	3	2' 40"	1,875
20 liter/menit	1	3' 00"	1,667
	2	2' 34"	1,948
	3	2' 37"	1,910
Rata – rata			1,829

Tabel 4.2 *Heat Input*

Laju aliran gas	Arus (I)	Voltage (V)	Travel speed (s)	Heat Input (HI)
10 liter/menit	120 A	12V	1,858 mm/s	542,518 j/mm
15 liter/menit			1,788 mm/s	563,758 j/mm
20 liter/menit			1,841 mm/s	547,528 j/mm

Dengan efisiensi perpindahan panas $\eta = 0,70$ untuk proses pengelasan GTAW (Ar-steel)

4.2 Hasil Pengujian Radiografi

Pengujian radiografi adalah uji tak merusak untuk mengetahui *internal defect*. Dengan menggunakan sinar gamma dapat diketahui cacat yang ada. Untuk menganalisa hasil pengujian digunakan *standart ASME SECT. V* dengan parameter sebagai berikut :

- Radiation source : Ir-192
- Technique : Single Wall Single Viewing
- Ukuran film : 3 sheets 4 x 15 Inci
- Film type : Agfa D7
- Placament : Source side
- SFD : 450 mm
- Exposure time : 1 menit
- Activity : 56 Ci
- IQI : ASTM set 1B
- Screen : Lead 0,125 mm
- Density : 2.0 - 4.0
- Sensitivity : approx 2 %

Tabel 4.3 Sensivitas Film

Aliran Gas	IQI	DENSITY	
		MIN	MAX
10 liter/menit	6	2.4	2.6
15 liter/menit	6	2.4	2.6
20 liter/menit	6	2.6	2.9

Rumus Sensitivity : $S = \frac{\emptyset}{x} \times 100\%$

Keterangan :

S : Sensitivitas

\emptyset : Diameter Kawat No. 6 (mm)

x : Tebal Material + *Weld Metal* (mm)

$$S = \frac{0,25}{10} \times 100\% = 2,5 \%$$

Maka, nilai sensitivitas IQI sebesar 2,5 %.

Dari Tabel 4.3 menunjukkan bahwa IQI yang keluar pada *film*, semua berjumlah 6 jadi masuk syarat standart keterimaan ASME Sec.V tetapi hasil perhitungan sesitivitas IQI menunjukkan nilai sebesar 2,5% sehingga nilai tersebut tidak memenuhi syarat keterimaan ASME Sec.V karena melebihi 2 % dan densitas atau kehitaman pada *film*, semua diantara 2,4 - 2,9 yang mana dapat diterima karena sesuai standart ASME Sect. V yaitu densitas antara 2 - 4.

Pada pengujian radiografi ini digunakan 3 spesimen berdasarkan variasi Laju aliran gas argon, yaitu dengan laju aliran gas 10 liter/menit, 15 liter/menit, dan 20 liter/ menit, didapat hasil sebagai berikut:

- Hasil uji radiografi pada plat ST42 pengelasan GTAW dengan laju aliran gas 10 liter/menit.

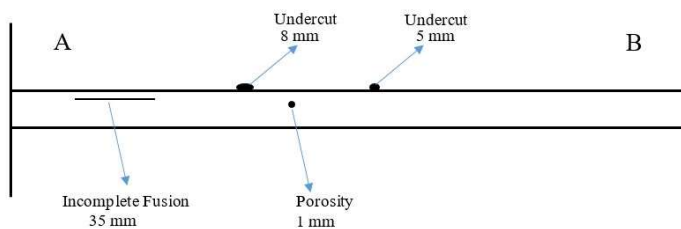


Gambar 4.1 Hasil lasan laju aliran gas 10 liter/menit



Gambar 4.2 Film hasil uji radiografi aliran gas 10 liter/menit

Plat 1 aliran gas 10 liter/menit



Gambar 4.3 Sketsa cacat las aliran gas 10 liter/menit

Tabel 4.4 Klasifikasi Cacat pada laju aliran gas 10 liter/menit

Laju aliran gas	Jenis Cacat	Dimensi Cacat	Jumlah Cacat
10 liter/menit	• Incomplete Fusion	35 mm	1
	• Porosity	1 mm	1
	• Undercut	5 & 8 mm	2
Total			4

Dari gambar diatas, dapat dilihat dari film hasil pengujian radiografi pada material hasil lasan dengan laju aliran gas 10 liter/menit memiliki cacat incomplete fusion sepanjang 35 mm yang disebabkan rendahnya heat input dengan kecepatan pengelasan yang terlalu cepat, porosity sepanjang 1 mm disebabkan oleh beberapa salah satunya penggunaan gas pelindung, dan undercut sepanjang 5 mm dan 8 mm disebabkan oleh kecepatan pengelasan yang terlalu cepat.

- Hasil uji radiografi pada plat ST42 pengelasan GTAW dengan laju aliran gas 15 liter/menit.

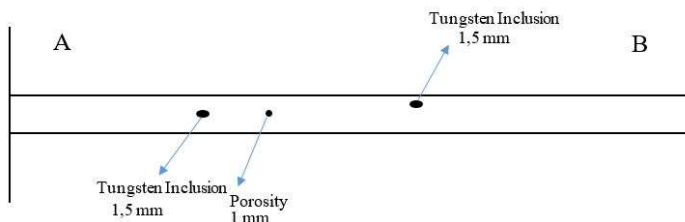


Gambar 4.4 Hasil lasan laju aliran gas 15 liter/menit



Gambar 4.5 Film hasil uji radiografi aliran gas 15 liter/menit

Plat 2 aliran gas 15 liter/menit



Gambar 4.6 Sketsa cacat las aliran gas 15 liter/menit

Tabel 4.5 Klasifikasi Cacat pada laju aliran gas 15 liter/menit

Laju aliran gas	Jenis Cacat	Dimensi Cacat	Jumlah Cacat
15 liter/menit	• Tungsten Inclusion	1,5 mm	2
	• Porosity	1 mm	1
Total			3

Dari gambar diatas, dapat dilihat dari film hasil pengujian radiografi pada material hasil lasan dengan laju aliran gas 15 liter/menit memiliki cacat tungsten inclusion sepanjang 1,5 mm disebabkan oleh elektroda tidak terumpan (Tungsten) yang sudah tumpul waktu proses pengelasan dan porosity sepanjang 1 mm disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya penggunaan gas pelindung.

- Hasil uji radiografi pada plat ST42 pengelasan GTAW dengan laju aliran gas 20 liter/menit.

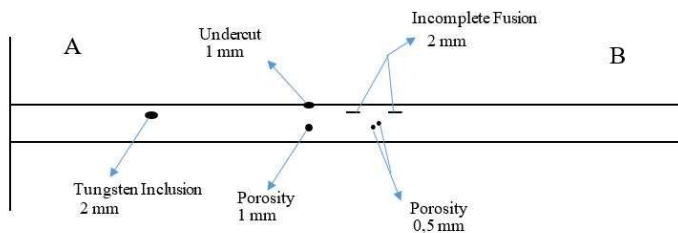


Gambar 4.7 Hasil lasan laju aliran gas 20 liter/menit



Gambar 4.8 Film hasil uji radiografi aliran gas 20 liter/menit

Plat 3 aliran gas 20 liter/menit



Gambar 4.9 Sketsa cacat las aliran gas 20 liter/menit

Tabel 4.6 Klasifikasi Cacat pada laju aliran gas 20 liter/menit

Laju Aliran Gas	Jenis Cacat	Dimensi Cacat	Jumlah Cacat
20 liter/menit	• Incomplete Fusion	2 mm	2
	• Porosity	0,5 & 1 mm	3
	• Tungsten inclusion	2 mm	1
	• Undercut	1 mm	1
Total			7

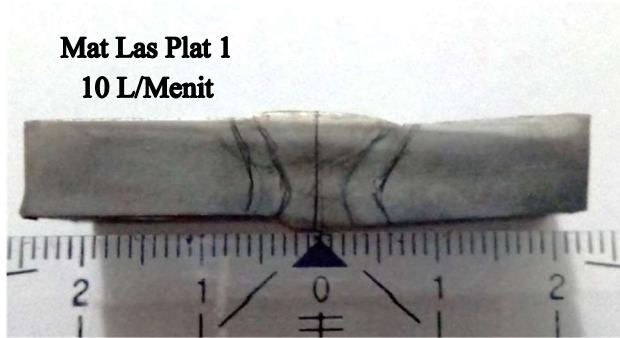
Dari gambar diatas, dapat dilihat dari film hasil pengujian radiografi pada material hasil lasan dengan laju aliran gas 20 liter/menit memiliki cacat incomplete fusion sepanjang 2 mm disebabkan rendahnya heat input dengan kecepatan pengelasan yang terlalu cepat, porosity sepanjang 0,5 mm dan 1 mm dikarenakan penggunaan gas pelindung, tungsten inclusion dikarenakan elektroda tidak terumpan (Tungsten) yang sudah tumpul waktu proses pengelasan dan undercut dikarenakan kecepatan pengelasan yang terlalu cepat.

4.3 Hasil Pengujian Makro Etsa

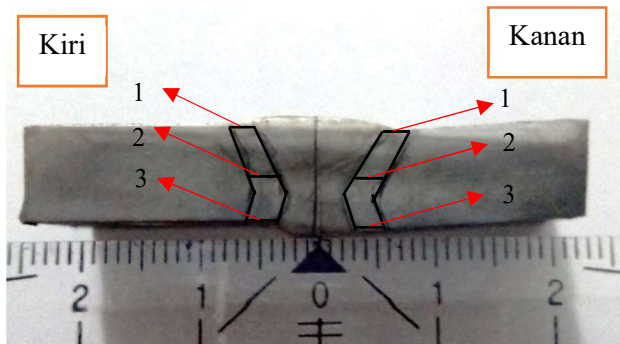
Pada pengujian makro etsa ini dilakukan untuk melihat daerah HAZ, Weld metal dan Base Metal pada 3 spesimen hasil las yaitu spesimen dengan laju aliran gas 10 liter/menit, 15 liter/menit, dan 20 liter/menit.

Hasil dari pengujian makro etsa dapat dilihat pada gambar dibawah:

- Hasil pengujian makro etsa pada spesimen 1 dengan laju aliran gas 10 liter/menit.



Gambar 4.10 Foto makro Spesimen las 10 liter/menit



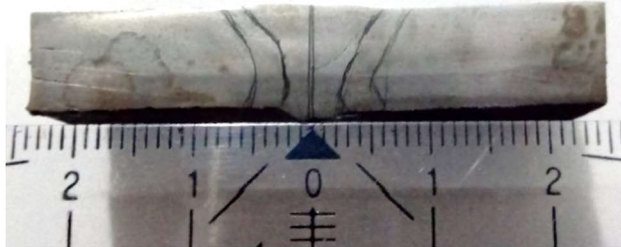
Gambar 4.11 Foto lebar HAZ lasan 10 liter/menit

Tabel 4.7 Lebar HAZ pada laju aliran gas 10 liter/menit

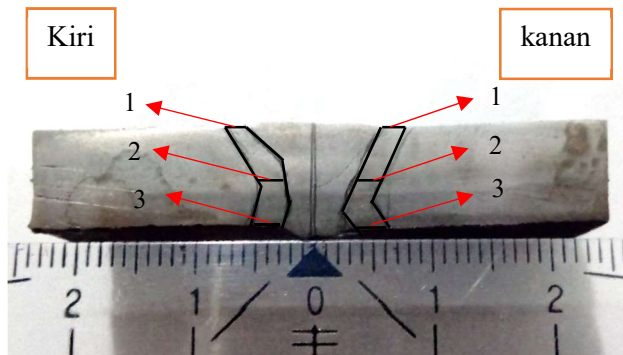
Benda Uji	Garis	Lebar HAZ	
		Kiri	Kanan
Spesimen 1	1	2,3 mm	2,3 mm
	2	2,6 mm	2,5 mm
	3	2,7 mm	2,5 mm

- Hasil pengujian makro etsa pada spesimen 2 dengan laju aliran gas 15 liter/menit.

Mat Las Plat 2
15 L/Menit



Gambar 4.12 Foto makro Spesimen las 15 liter/menit



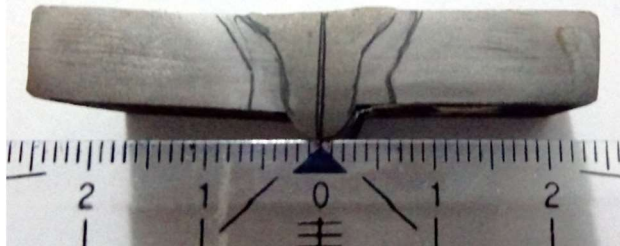
Gambar 4.13 Foto lebar HAZ las 15 liter/menit

Tabel 4.8 Lebar HAZ pada laju aliran gas 15 liter/menit

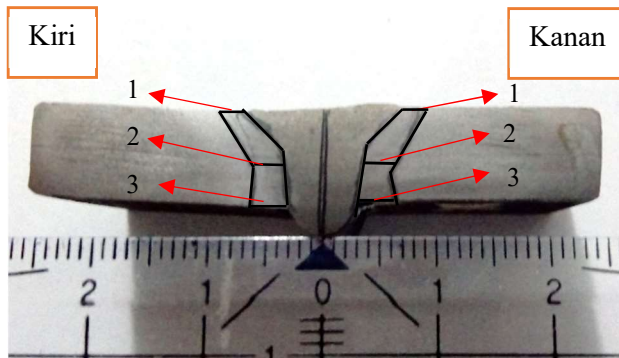
Benda Uji	Garis	Lebar HAZ	
		Kiri	Kanan
Spesimen 2	1	1,8 mm	2,1 mm
	2	2,5 mm	2,3 mm
	3	2,3 mm	2,6 mm

- Hasil pengujian makro etsa pada spesimen 3 dengan laju aliran gas 20 liter/menit.

Mat Las Plat 3
20 L/Menit



Gambar 4.14 Foto makro Spesimen las 20 liter/menit

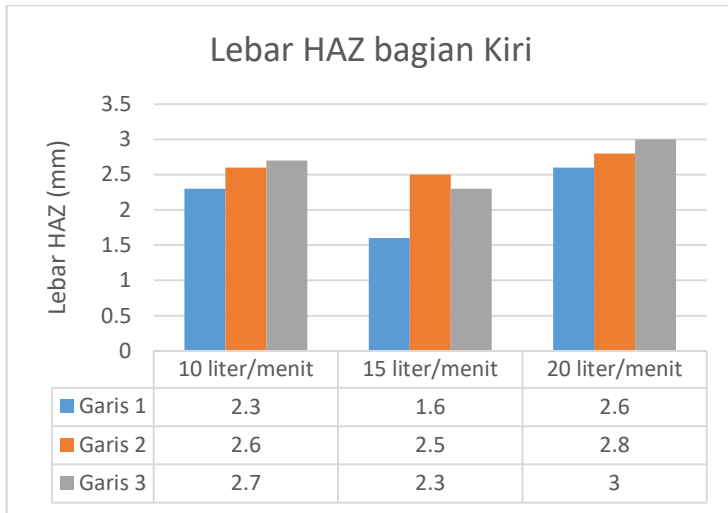


Gambar 4.15 Foto lebar HAZ las 20 liter/menit

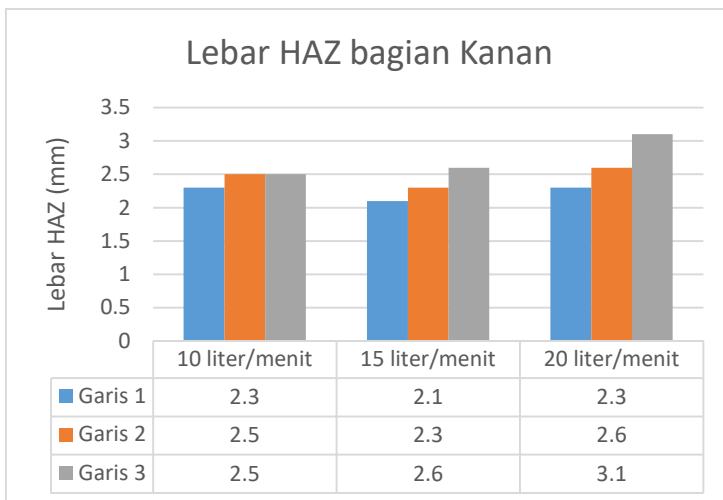
Tabel 4.9 Lebar HAZ pada laju aliran gas 20 liter/menit

Benda Uji	Garis	Lebar HAZ	
		Kiri	Kanan
Spesimen 3	1	2,6 mm	2,3 mm
	2	2,8 mm	2,6 mm
	3	3,0 mm	3,1 mm

Berdasarkan data pada tabel 4.7,tabel 4.8 dan tabel 4.9 diatas digambarkan dalam bentuk grafik seperti berikut.



Gambar 4.16 Grafik lebar HAZ bagian kiri



Gambar 4.17 Grafik lebar HAZ bagian kanan

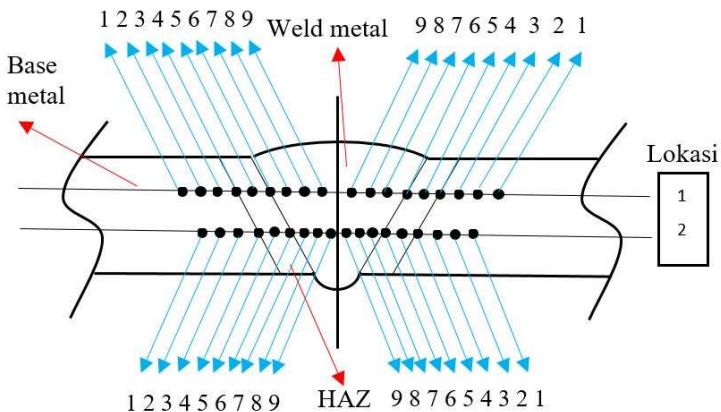
Lebar HAZ dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah heat input pada proses pengelasan namun dalam penelitian ini terdapat pengaruh laju aliran gas.

Berdasarkan kedua grafik diatas menggambarkan kecenderungan perubahan lebar HAZ akibat pengaruh perubahan laju aliran gas. Pada laju aliran gas 15 liter/menit memiliki lebar HAZ paling sempit, pada laju aliran gas 10 liter/menit memiliki lebar HAZ lebih lebar Dan pada laju aliran gas 20 liter/menit memiliki lebar HAZ paling lebar.

4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell

Perbedaan parameter dalam pengujian kekerasan ini adalah perbedaan laju aliran gas yaitu aliran gas 10 liter/menit, 15 liter/menit, dan 20 liter/menit. Pada pengujian kekerasan ini menggunakan pengujian kekerasan Rockwell dengan menggunakan indentor bola 1/16 inchi (HRB) .Diawali dengan beban awal (minor) 10 kg dan dilanjutkan beban utama (mayor) 90 kg.

Berikut ini adalah sketsa pengambilan titik identasi pada pengujian kekerasan Rockwell :



Gambar 4.18 Titik identasi hasil pengujian kekerasan Rockwell

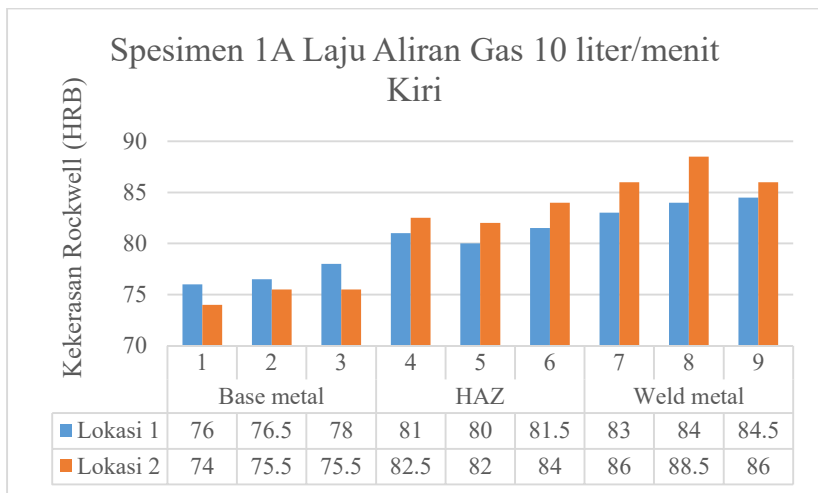
Dalam pengujian kekerasan ini dibuat 6 benda uji yaitu:

- spesimen 1A dan 1B mewakili laju aliran gas 10 liter/menit.
- spesimen 2A dan 2B mewakili laju aliran gas 15 liter/menit.
- spesimen 3A dan 3B mewakili laju aliran gas 20 liter/menit.

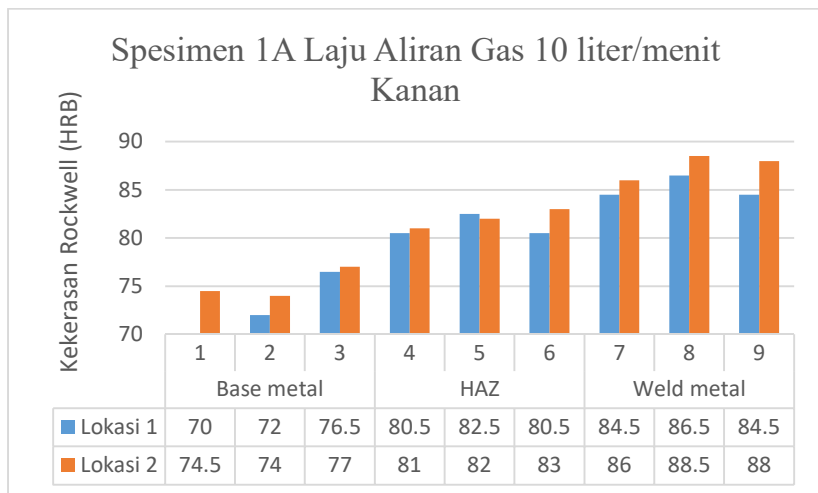
Data hasil pengujian kekerasan ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu sebagai berikut.

Tabel 4.10 Hasil pengujian kekerasan spesimen 1A laju aliran gas 10 liter/menit

Spesimen 1A	Daerah	Titik	Kiri		Kanan	
			HRB			
			Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 1	Lokasi 2
10 lt/min	Base Metal	1	76	74	70	74,5
		2	76,5	75,5	72	74
		3	78	75,5	76,5	77
	HAZ	4	81	82,5	80,5	81
		5	80	82	82,5	82
		6	81,5	84	80,5	83
	Weld Metal	7	83	86	84,5	86
		8	84	88,5	86,5	88,5
		9	84,5	86	84,5	88



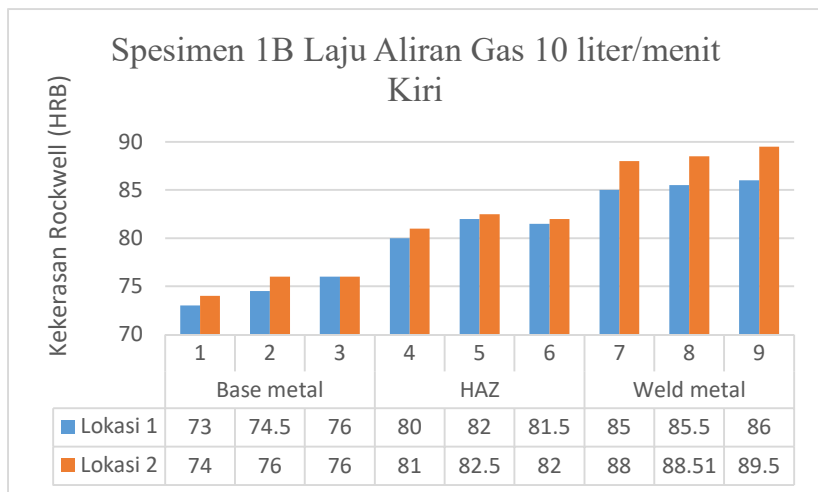
Gambar 4.19 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 1A laju aliran gas 10 liter/min kiri



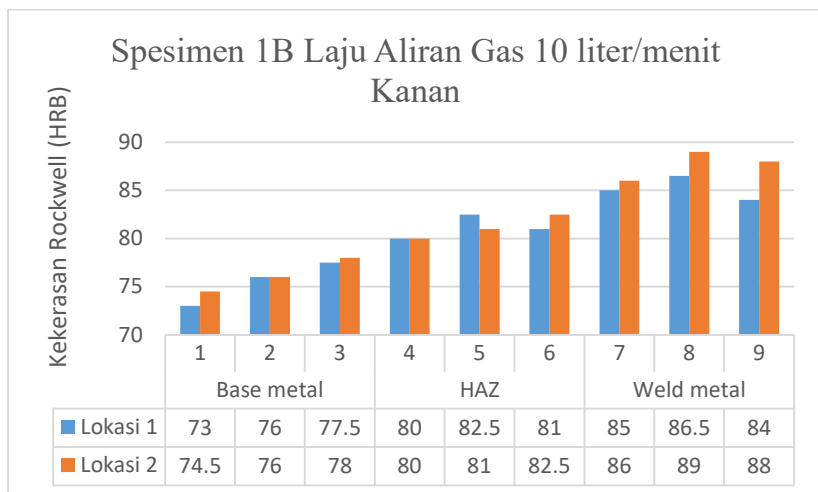
Gambar 4.20 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 1A laju aliran gas 10 liter/min kanan

Tabel 4.11 Hasil pengujian kekerasan spesimen 1B laju aliran gas 10 liter/menit

Spesimen 1B	Daerah	Titik	Kiri		Kanan	
			HRB			
			Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 1	Lokasi 2
10 lt/min	Base Metal	1	73	74	73	74,5
		2	74,5	76	76	76
		3	76	76	77,5	78
	HAZ	4	80	81	80	80
		5	82	82,5	82,5	81
		6	81,5	82	81	82,5
	Weld Metal	7	85	88	85	86
		8	85,5	88,5	86,5	89
		9	86	89,5	84	88



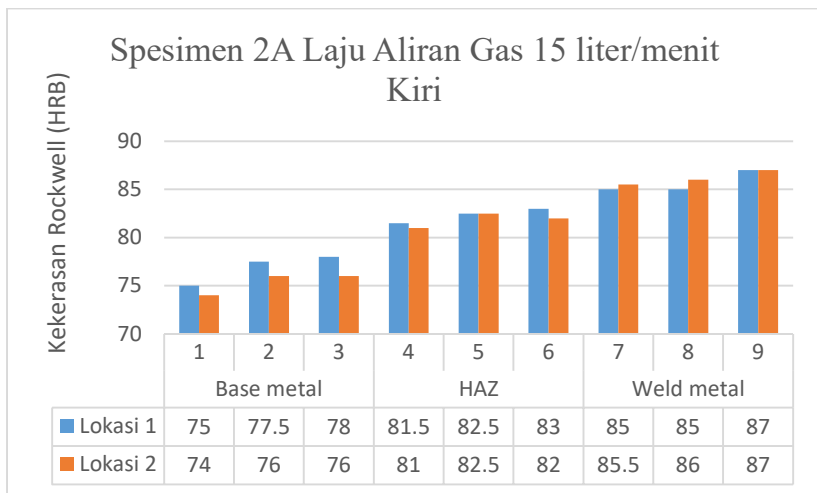
Gambar 4.21 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 1B laju aliran gas 10 liter/min kiri



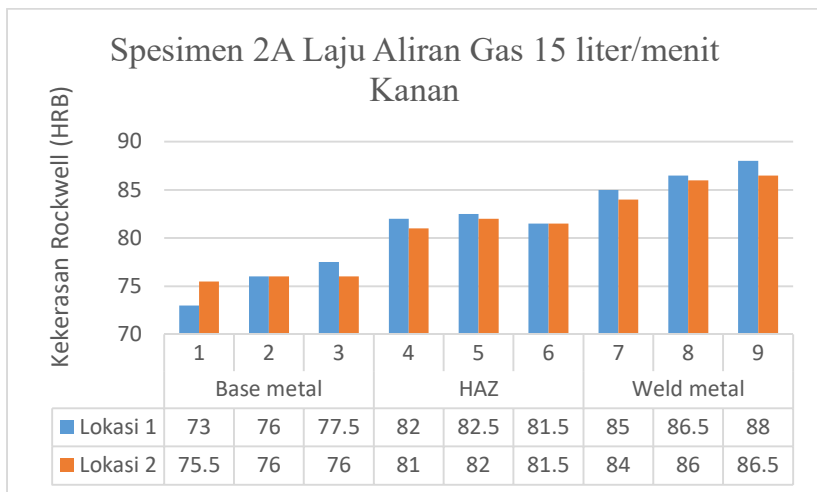
Gambar 4.22 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 1B laju aliran gas 10 liter/min kanan

Tabel 4.12 Hasil pengujian kekerasan spesimen 2A laju aliran gas 15 liter/menit

Spesimen 2A	Daerah	Titik	Kiri		Kanan	
			HRB			
			Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 1	Lokasi 2
15 lt/min	Base Metal	1	75	74	73	75,5
		2	77,5	76	76	76
		3	78	76	77,5	76
	HAZ	4	81,5	81	82	81
		5	82,5	82,5	82,5	82
		6	83	82	81,5	81,5
	Weld Metal	7	85	85,5	85	84
		8	85	86	86,5	86
		9	87	87	88	86,5



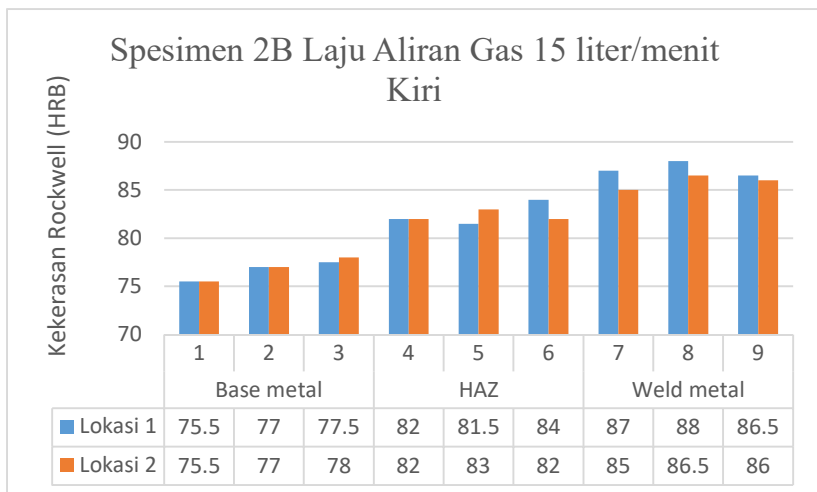
Gambar 4.23 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 2A laju aliran gas 15 liter/min kiri



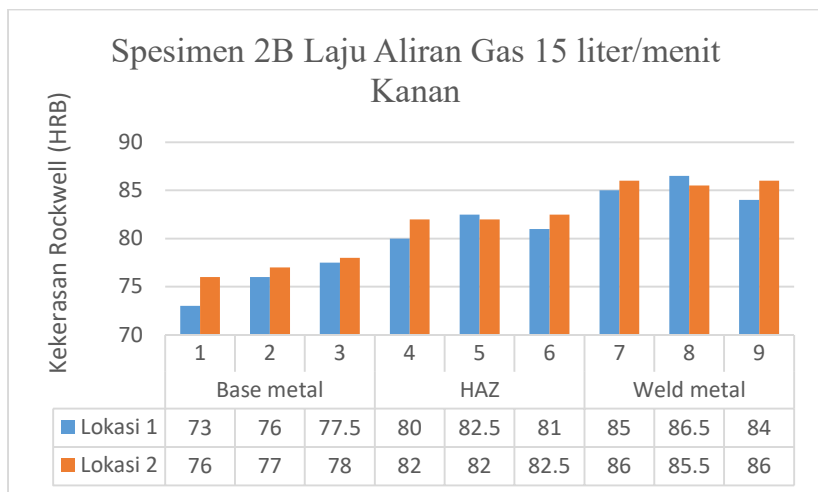
Gambar 4.24 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 2A laju aliran gas 15 liter/min kanan

Tabel 4.13 Hasil pengujian kekerasan spesimen 2B laju aliran gas 15 liter/menit

Spesimen 2B	Daerah	Titik	Kiri		Kanan	
			HRB			
			Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 1	Lokasi 2
15 lt/min	Base Metal	1	75,5	75,5	73	76
		2	77	77	76	77
		3	77,5	78	77,5	78
	HAZ	4	82	82	80	82
		5	81,5	83	82,5	82
		6	84	82	81	82,5
	Weld Metal	7	87	85	85	86
		8	88	86,5	86,5	85,5
		9	86,5	86	84	86



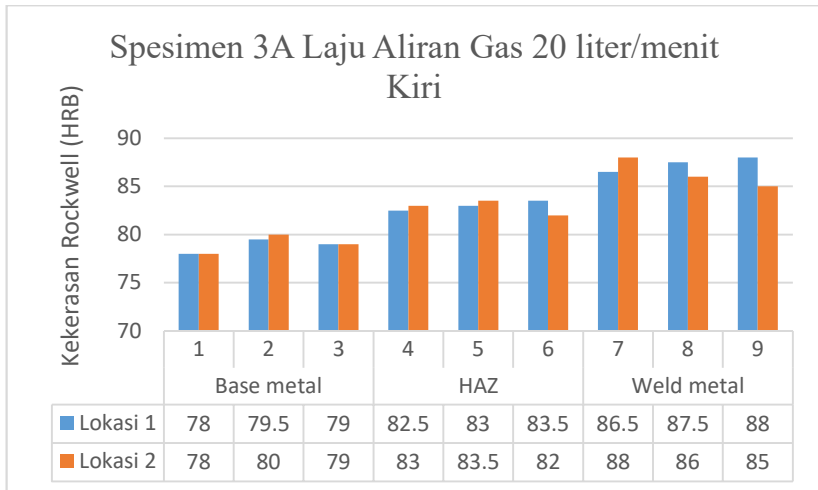
Gambar 4.25 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 2B laju aliran gas 15 liter/min kiri



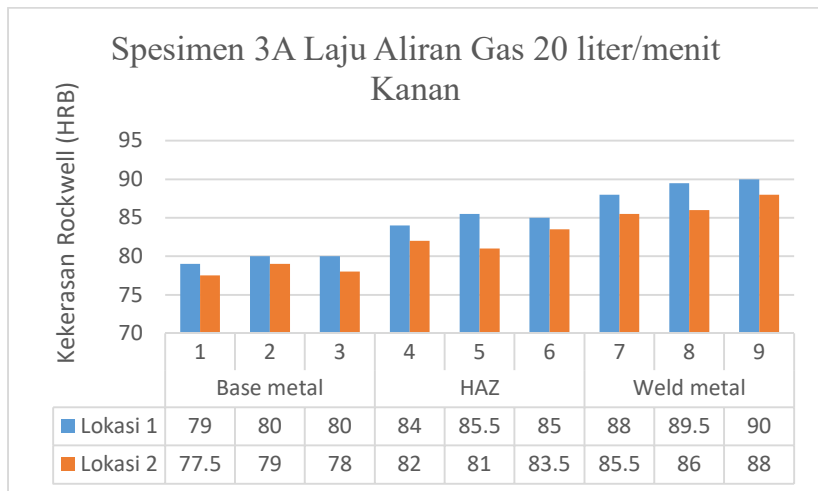
Gambar 4.26 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 2B laju aliran gas 15 liter/min kanan

Tabel 4.14 Hasil pengujian kekerasan spesimen 3A laju aliran gas 20 liter/menit

Spesimen 3A	Daerah	Titik	Kiri		Kanan	
			HRB			
			Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 1	Lokasi 2
20 lt/min	Base Metal	1	78	78	79	77,5
		2	79,5	80	80	79
		3	79	79	80	78
	HAZ	4	82,5	83	84	82
		5	83	83,5	85,5	81
		6	83,5	82	85	83,5
	Weld Metal	7	86,5	88	88	85,5
		8	87,5	86	89,5	86
		9	88	85	90	88



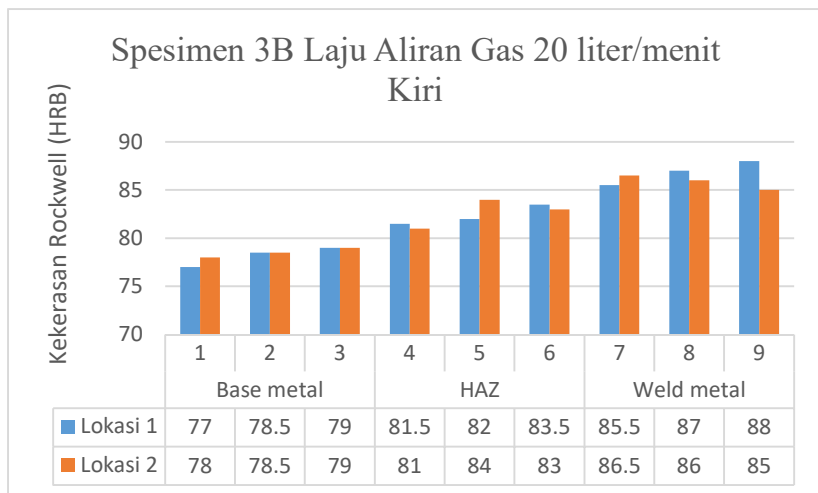
Gambar 4.27 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 3A laju aliran gas 20 liter/min kiri



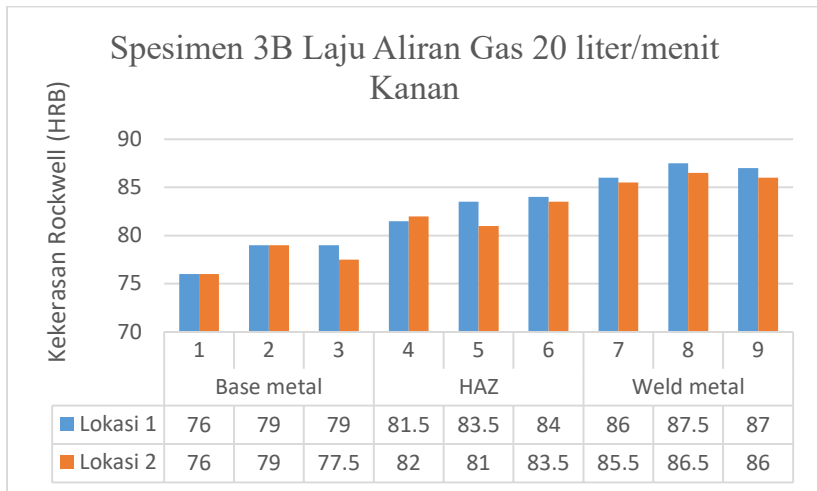
Gambar 4.28 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 3A laju aliran gas 20 liter/min kanan

Tabel 4.15 Hasil pengujian kekerasan spesimen 3B laju aliran gas 20 liter/menit

Spesimen 3B	Daerah	Titik	Kiri		Kanan	
			HRB			
			Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 1	Lokasi 2
20 lt/min	Base Metal	1	77	78	76	76
		2	78,5	78,5	79	79
		3	79	79	79	77,5
	HAZ	4	81,5	81	81,5	82
		5	82	84	83,5	81
		6	83,5	83	84	83,5
	Weld Metal	7	85,5	86,5	86	85,5
		8	87	86	87,5	86,5
		9	88	85	87	86



Gambar 4.29 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 3B laju aliran gas 20 liter/min kiri



Gambar 4.30 Grafik hasil uji kekerasan spesimen 3B laju aliran gas 20 liter/min kanan

Nilai kekerasan pada spesimen hasil lasan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain yaitu heat input, kecepatan las, pemanasan dan laju pendinginan. Pengelasan pada penelitian ini menggunakan variabel perbedaan laju aliran gas argon dengan proses pengelasan GTAW. Dengan 3 variabel laju aliran gas argon yaitu 10 liter/menit, 15 liter/menit dan 20 liter/menit.

Dari beberapa grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai kekerasan paling kecil terdapat pada base metal kemudian kekerasan semakin naik pada daerah HAZ hingga daerah weld metal dimana nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada daerah weld metal, hal ini berlaku untuk lokasi 1 dan lokasi 2. Pada laju aliran gas 10 liter/menit memiliki nilai kekerasan lebih tinggi pada lokasi 2 ,pada laju aliran gas 15 liter/menit memiliki nilai kekerasan lebih tinggi pada lokasi 1, pada laju aliran gas 20 liter/menit memiliki nilai kekerasan lebih tinggi pada lokasi 1. Sebagian besar nilai kekerasan lokasi 1 lebih tinggi dikarenakan laju pendinginan lebih cepat di banding lokasi 2 waktu proses pengelasan.

Tabel 4.16 Rangkuman hasil pengujian

Pengujian	Variasi	Hasil
Radiografi	10 lt/min	Cacat incomplete fusion, cacat porosity, cacat undercut
	15 lt/min	Cacat tungsten inclusion, cacat porosity
	20 lt/min	Cacat incomplete fusion, cacat porosity, cacat undercut, cacat tungsten inclusion
Makro etsa	10 lt/min	Lebar HAZ antara 2,3 – 2,7 mm
	15 lt/min	Lebar HAZ antara 1,8 – 2,6 mm
	20 lt/min	Lebar HAZ antara 2,6 – 3,1 mm
Kekerasan	10 lt/min	Nilai kekerasan <ul style="list-style-type: none"> • Base metal 75,367 HRB • HAZ antara 81,521 HRB • Weld metal 86,292 HRB
	15 lt/min	Nilai kekerasan <ul style="list-style-type: none"> • Base metal 75,188 HRB • HAZ antara 82,042 HRB • Weld metal 86 HRB
	20 lt/min	Nilai kekerasan <ul style="list-style-type: none"> • Base metal 76,479 HRB • HAZ 82,708 HRB • Weld metal 86,854 HRB

Keterangan :

- Pengujian radiografi hasil las dengan jenis cacat yang paling sedikit terdapat pada laju aliran gas 15 liter/menit dan yang paling banyak pada laju aliran gas 20 liter/menit.

- Pengujian makro etsa hasil las dengan lebar HAZ paling sempit terdapat pada laju aliran gas 15 liter/menit dan paling lebar terdapat pada laju aliran gas 20 liter/menit.
- Pengujian kekerasan nilai kekerasan cenderung naik dari base metal ke weld metal. Nilai kekerasan pada HAZ cenderung meningkat dari laju aliran gas 10 liter/menit ke 15 liter/menit lalu ke 20 liter/menit.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data dapat di simpulkan bahwa:

1. Dari pengujian radiografi cacat yang timbul pada pengelasan baja ST 42 pada laju aliran gas 10 liter/menit, 15 liter/menit, dan 20 liter/menit terindikasi cacat porosity, tetapi memiliki jenis cacat yang lain.
 - Laju aliran gas 10 liter/menit cacat yang terjadi adalah cacat porosity, cacat incomplete fusion, dan undercut.
 - Laju aliran gas 15 liter/menit cacat yang terjadi adalah cacat porosity dan tungsten inclusion.
 - Laju aliran gas 20 liter/menit cacat yang terjadi adalah cacat porosity, cacat tungsten inclusion, undercut, dan incomplete fusion.
2. Dari pengujian makro etsa didapat hasil pengukuran dari lebar *HAZ* pada pengelasan dengan laju aliran gas 10 liter/menit, 15 liter/menit dan 20 liter/menit terjadi perubahan nilai lebar *HAZ*. Pada laju aliran gas 20 liter/menit lebar *HAZ* paling lebar. Pada laju aliran gas 15 liter/menit lebar *HAZ* menurun tetapi pada laju aliran gas 10 liter/menit lebar *HAZ* mengalami kenaikan.
3. Dari pengujian kekerasan didapat hasil bahwa nilai kekerasan pada laju aliran gas 10 liter/menit, 15 liter/menit, dan 20 liter/menit cenderung selalu meningkat dari base metal ke weld metal dan nilai kekerasan pada laju aliran 10 liter/menit sampai laju aliran 20 liter/menit cenderung mengalami peningkatan. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada laju aliran gas 20 liter/menit yaitu Base metal 76,479 HRB, *HAZ* 82,708 HRB, dan Weld metal 86,854 HRB.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak hal yang perlu dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada penelitian selanjutnya. Oleh karena itu diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian penetran untuk mengamati cacat las eksternal pada logam hasil lasan.
2. Dalam pengelasan GTAW penggunaan parameter las harus diperhatikan yaitu mengenai kecepatan las, besar arus, jenis arus dan parameter lainnya untuk mendapatkan hasil lasan yang maksimal serta untuk mengurangi kesalahan atau cacat las pada logam las .

DAFTAR PUSTAKA

1. Wiryosumarto, Harsono Prof. Dr. Ir dan Okumura Toshie Prof. Dr. 2000. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: PT pradnya Paramita.
2. Tim Penyusun, Fakultas Teknik UNY. 2004. Mengelas Dengan proses Las Gas Tungsten. Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
3. Surdia, T. 1985, Pengetahuan Bahan Teknik. Pradnya Paramita. Jakarta.
4. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional. 2008. Teknik Radiografi level 1.Batan.
5. Putra Dewa, Bintang. 2017. Analisa variasi kandungan air di electrode E7018 pada hasil pengelasan SMAW dengan arus 220A terhadap material ST 37 menggunakan metode radiografi dan makro etsa. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
6. Noviansyah, Bintang. 2010. Analisa cacat porositas dan struktur mikro akibat pengaruh besar aliran gas hasil pengelasan MIG (Metal Inert Gas) pada paduan aluminium 5383. Jurusan Teknik Mesin – Universitas Jember. Jember.

RADIOGRAPHY EXAMINATION REPORT

[illegible]

Lampiran 2

<p>CS PT Sakti Mada Bangun</p>	
Client :	PT DPM
Project :	2115030054
Dwg. No. :	Part 1
Joint :	8
Welder :	
OD :	30.05.2008
Date :	30.05.2008

A - B FRL - H: 37mm ; R: 1mm ; U/c
 Density : 2.9 - 2.6

A B
 T2 DPM 2115030054 H: 37mm
 LRS 120A 2012 10L ST 42
 U/c
 U/c
 H

Lampiran 3

PT. PIRINDA BANGSA SENTRA Client :		Building/complex : <i>LC</i>
Project : TA DTMI	Project : PAIS - PAIS Iam S1: 15mm / 15mm	
DWG No : 215030054		
Joint : PLAT 2		
Waller : -		
OD : 8		
Date : 30-05-2018		

Duty : 2.4 - 2.6

RAT 2

LAS 120A 2018 15L
 ST 92

Lampiran 5



TECHNICAL SPECIFICATION SHEET

ER70S-6 CARBON STEEL WELDING WIRE

SPECIFICATION COMPLIANCE: AISI/AWS A5.18 & ASME SFA 5.18 ER 70S-6

DESCRIPTION: ER70S-6 is a premium mild steel solid wire formulated to provide high quality welds and trouble-free performance from heavy duty, high speed, spray transfer applications all the way to light duty low speed, short-arc applications. ER70S-6 is designed for use with various gas mixtures such as 100% CO₂, 75/25 Ar/CO₂, or 98/2 Ar/O₂. Even in the most difficult applications ER70S-6 produces a smooth stable arc with low spatter, producing a weld bead that ties in evenly with the sides and has a smooth finished appearance.

APPLICATIONS: Frame fabrication, automotive structures, farm implements, construction equipment, pressure vessels, pipe fabrication, railcar construction and repair, general fabrication. Widely used in high-speed robotic and automatic welding applications and semi-automatic applications.

NOMINAL COMPOSITION:

Carbon	.06-.15 %	Copper	.50 % max.	Manganese	1.40-1.85 %
Silicon	.80-1.15%	Sulfur	.035 % max.	Phosphorus	.025 % max.
Nickel	0.15 % max.	Chromium	0.15 % max.	Vanadium	0.03% max.
Molybdenum	0.15 % max.	Iron	Balance	Others Total	.50 % max.

PHYSICAL PROPERTIES:

Density lbs/cu in .283

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES AS WELDED (GMAW)

Shielding Gas	CO ₂	75%Ar/25%CO ₂	98%Ar/2%O ₂
Tensile Strength(psi)	80-85,000	85-90,000	85-90,000
Yield Strength(psi)	65-70,000	70-75,000	70-75,000
Elongation % in 2"	28.5%	28%	28%
Reduction of area	55-70%	55-70%	55-70%
Charpy V-notch ft. lbs.	20-30	25-35	30-40

* RECOMMENDED WELDING PARAMETERS:

GMAW(MIG) Parameters (DC Reverse Polarity) Electrode Positive Spray transfer:

Wire Dia.	Amps	Volts	Argon/ 1-5% O ₂	Wire Feed ipm
.023	85-170	23-27	25	360-620
.030	135-230	24-28	25	390-670
.035	165-300	24-28	30	360-520
.045	200-375	24-30	30-35	210-390
1/16	275-500	24-32	40	150-360
3/32	300-600	24-33	50	75-125

Lampiran 6



* RECOMMENDED WELDING PARAMETERS (continued):

GTAW (Tig) Parameters (DCSP) 2 %Thoriated Tungsten Electrode negative

Material	Tungsten dia	Filler Wire Size	Amps	Gas Cup	Argon(cfh)
1/16"	1/16"	1/16"	100-140	3/8	20
3/32"	1/16"	1/16"	100-160	3/8	20
1/8"	3/32"	1/16"	125-200	7/16	20
3/16"	3/32"	3/32"	150-250	7/16	25
1/4"	1/8"	1/8"	150-250	1/2	25
3/8"	1/8"	1/8"	150-275	1/2	25
1/2"	1/8"	1/8"	150-300	1/2	25

* All parameters are suggested as basic guidelines and will vary depending on joint design number of passes, and other factors.

SAFETY INFORMATION:

WARNING. PROTECT yourself and others. Read and understand this information.

FUMES AND GASES can be hazardous to your health.

HEAT RAYS (INFRARED RADIATION) from flame or hot metal can injure eyes.

• Before use, read and understand the manufacturer's instructions, Material Safety Data Sheet (MSDS) and your employer's safety practices.

• Keep your head out of fumes.

• Use enough ventilation, exhaust at the flame, or both, to keep fumes and gases from your breathing zone and the general area.

• Wear correct eye, ear, and body protection.

• See American National Standard Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*, published by the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33126; OSHA Safety and Health Standards, available from the U. S. Government Office, Washington, DC 20462.

STATEMENT OF LIABILITY — DISCLAIMER Any suggestion of product applications or results is given without representation or warranty, either expressed or implied. Without exception or limitation, there are no warranties of merchantability or of fitness for particular purpose or application. The user must fully evaluate every process and application in all aspects, including suitability, compliance with applicable law and non-infringement of the rights of others. Unibrazo Corp and its affiliates shall have no liability in respect thereof.

Table 1
Chemical Composition Requirements for Solid Electrodes and Rods

AWS Classification ^a	UNS Number ^b	Weight Percent ^c												
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Co ^d	Ti	Zr	Al
ER70S-2	K10726	0.07 to 1.40	0.90 to 0.70	0.40 to 0.70	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	0.05	0.02	0.05
												0.15	0.12	0.15
ER70S-3	K11022	0.06 to 0.15	0.90 to 1.40	0.45 to 0.75	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	—	—	—
												—	—	—
ER70S-4	K11132	0.07 to 0.15	1.00 to 1.50	0.65 to 0.85	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	—	—	—
												—	—	—
ER70S-5	K11357	0.07 to 0.19	0.90 to 1.40	0.30 to 0.60	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	—	—	0.50 to 0.90
												—	—	—
ER70S-6	K11140	0.06 to 0.15	1.40 to 1.85	0.80 to 1.15	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	—	—	—
												—	—	—
ER70S-7	K11125	0.07 to 0.15	1.50 to 2.00	0.50 to 0.80	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	—	—	—
												—	—	—
ER70S-G	—	Not Specified ^e												

Notes:
a. Weight values are maximum.
b. The letter "N" as a suffix to a classification indicates that the weld metal is intended for the core belt region of nuclear reactor vessels, as described in the Annex to the specification. This suffix changes the limits on the phosphorus, vanadium and copper as follows:
P = 0.012% maximum
V = 0.05% maximum
Cu = 0.05% maximum
c. SAE/ASTM International Welding System for Metals and Alloys.
d. Copper due to any coating on the electrode or rod plus the copper content of the filler metal itself, shall not exceed the stated 0.50% max.
e. These residual elements shall not exceed 0.50% in total.
f. In this classification, the maximum Mn may be increased 0.05% for each 0.05% increase in Ni or part thereof.
g. Chemical requirements are not specified but there shall be no intentional addition of Ni, Cr, Mo, and V. Composition shall be reported. Requirements are those agreed to by the purchaser and the supplier.

Lampiran 8

Specification No.	Material	Chemical Composition per cent			Mechanical Properties				
		C	Mn	S & Peach	Tensile Strength N/mm ² (kgf/mm ²) min	Yield Stress N/mm ² (kgf/mm ²) min	Elongation Properties		
							Lo= 80 mm b= 20 mm upto 3 mm thickness	Gauge Length 5.65 VSO over 3 mm thickness	200 mm
IS-1079/73 HR Carbon Steel Sheetand Strip Gr. 0-1079									
	--	--	--	0.06	---	---	---	---	---
	D-1079	0.12	0.50	0.05	---	---	---	---	---
	DD-1079	0.10	0.50	0.04	260-390 (27-40)	---	17	23	16
	EDD-1079	0.10	0.45	0.035	260-380 (27-39)	---	18	25	17
	St 34-1079	0.15	--	0.05	330-410 (34-42)	205 (21)	18	25	18
	St 42-1079	0.25	---	0.05	410-490 (42-50)	235 (24)	16	22	15
	St 50-1079	0.30	---	0.05	490-590 (50-60)	295 (30)	16	20	13
	St 52-1079	0.25	---	0.05	510-610 (52-62)	355 (36)	16	20	1

MECHANICAL PROPERTIES AT ROOM TEMPERATURE IN AS DELIVERED CONDITION FOR ANNEALED SKIN PASSED SHEETS AND STRIP (CUT LENGTHS AND COILS)

Grade	Tensile Strength Mpa	Yield Strength Mpa (max.)	Elongation Percent 80 mm Gauge Length (Min.)	Hard- ness HBS	max- HR (30T)
IS : 513/1986					
Ordinary (O)					
Drawing (D)	---	---	---	---	---
Deep Drawing (DD)	270-410	280	28	65	60
Extra Deep Drawing (EDD)	270-370	250	32	57	55
Note : 1 Mpa = 1N/mm ² = 10.02 kgf/cm ²	270-350	220	36	50	50

- NOTE :
1. Tensile test value apply to transverse specimen in case of strip wider than 250 mm strips having a width of 250 mm below shall be tested longitudinally
 2. Cupping test shall be applicable only for sheets and strips of D, DD and EDD grades having thickness from 0.5 mm upto 2.00 mm
 3. Cupping test shall be carried out in accordance with IS : 10175 - 1982 and the minimum Erichson cupping test value shall be as given in figure 1.

Grade	Material	Chemical Composition per cent			
		C	Mn	S	P
IS : 597/62	Black plate for tinning and tinplate				
	Deep Stamping	0.14	0.50	0.060	0.090
	Deep Drawing	0.10	0.40	0.050	0.060

NOTE : For similar foreign specifications, please see at end of mild steel specs.

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari kedua bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 24 Oktober 1996 di Tulungagung, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh yaitu pada tahun 2003-2009 bersekolah di SDN 3 Bono, kemudian pada tahun 2009-2012 melanjutkan ke SMP Negeri 1 Gondang dan pada tahun 2012-2015 melanjutkan ke SMK Negeri 3 Boyolangu. Setelah itu pada tahun 2015 penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi Diploma, Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS dan mengambil bidang studi Manufaktur. Penulis pernah menjabat sebagai Grader lab. Proses Manufaktur periode 2016-2017. Penulis pernah menjadi Grader lab. Pemesinan Logam 2017-2018. Pada bulan Juli 2017, penulis melakukan kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik selama satu bulan. Dalam kerja praktek penulis melakukan studi dengan judul “Proses Management Pemeliharaan Pada Turbin Uap Unit Utilitas Batubara PT Petrokimia Gresik”. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi lebih luas dan untuk informasi mengenai tugas akhir ini, pembaca dapat menghubungi penulis via E-mail : mkhoirulanwar1996@gmail.com.